

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



**Pavčina MURDYCHOVÁ**

## **VLIV UMĚLÉHO ZASNĚŽOVÁNÍ NA BILANCI ODTOKU V HORSKÝCH POVODÍCH**

THE IMPACT OF ARTIFICIAL SNOW PRODUCTION  
ON THE RUNOFF BALANCE IN MOUNTAIN BASINS

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Michal Jeníček, Ph.D.

Praha 2012

# **Zadání bakalářské práce**

## **Název práce**

Vliv umělého zasněžování na bilanci odtoku v horských povodích

## **Cíle práce**

Bakalářská práce si stanovuje následující cíle:

1. Analýza současného stavu poznatků a zhodnocení dosavadních studií provedené v ČR a v zahraničí na téma vlivu umělého zasněžování na bilanci odtoku z povodí
2. Případová studie vlivu zasněžování na bilanci odtoku na příkladu lyžařských středisek v Krkonoších – povodí horní Jizery, Labe a Úpy.

## **Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje**

První část práce bude tvořit přehled české i zahraniční odborné literatury, která se věnuje problematice vlivu umělého zasněžování na bilanci odtoku v horských povodích. Práce bude řešeršní formou na příkladu provedených studií hodnotit vliv na odtok povodí jak z hlediska kvantitativních charakteristik, tak z hlediska případného vlivu na kvalitu vody.

Ve druhé části práce budou analyzována data měsíčních odtoků a data o zasněžování v povodích horní Jizery, horního Labe a horní Úpy, které mohou být ovlivněny zasněžováním v lyžařských střediscích v Krkonoších.

Datum zadání: 28. 11. 2011

Jméno studenta: Pavlína Murdychová

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: Michal Jeníček

Podpis vedoucího práce:

**Prohlášení**

Souhlasím, aby práce byla uložena v Geografické knihovně a zpřístupněna ke studijním účelům. Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků z této práce mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity. Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Praze dne 16.8. 2012

.....

Pavčina Murdychová

### **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce RNDr. Michalu Jeníčkovi, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc při zpracování mé práce. Dále bych rád poděkovala všem, kteří mi poskytli potřebná data pro bakalářskou práci. Zároveň děkuji všem, kteří mi při zpracování bakalářské práce poskytli pomoc, konzultace a podporu.

# **Vliv umělého zasněžování na bilanci odtoku v horských povodích**

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá tématem vlivu technického zasněžování na horská povodí. Úvodní část je rešerší české i zahraniční dostupné literatury o obecných vlastnostech umělého sněhu a jeho vlivu na jednotlivé přírodní sféry i s ohledem na klimatické změny. Druhá analytická část hodnotí změnu vodní bilance a odtokového režimu ve vybraných horských povodích v Krkonoších. Jsou zpracována data měsíčních průtoků ze tří vodoměrných stanic – Vestřev (Labe), Horní Staré Město (Úpa), Dolní Sytová (Jizera) od roku 2003 do současnosti a dále data odběru vody pro zasněžování za období 2001-2011 z těchto tří povodí. Technickým zasněžováním nedochází v dlouhodobém hledisku k výrazným změnám na průtocích, pouze ke změně jejich ročního rozložení. Vliv na bilanci odtoku by byl prokazatelnější v rámci malých povodí.

**Klíčová slova:** umělý sníh, zasněžování, vodní bilance

# **The impact of artificial snow production on the runoff balance in mountain basins**

## **Abstract**

This bachelor thesis handles issue of impact of artificial snow production on the runoff balance in mountain basins. First part of the thesis is summary of available literature about properties of artificial snow and its impact on natural sphere with regard to climate change. The second part of this thesis analyzed the change of water balance and runoff in selected basins in Krkonoše mountains. Data from monthly flows from three hydrological station – Vestřev (Labe), Horní Staré Město (Úpa), Dolní Sytová (Jizera) from 2003 to 2011 and data abstraction of water for snowmaking for the period 2001-2011 were used. The artificial snowmaking does not occur in long term to significant change in flow out, only to change their annual distribution. The impact of artificial snow production would be significant with evidence in a small basins.

**Keywords:** artificial snow, snowmaking, water balance

# OBSAH

1 Úvod.....	9
1.1 Cíle práce.....	9
1.2 Struktura práce.....	9
2 Současný stav výzkumu technického sněhu.....	10
2.1 Historie a současnost umělého zasněžování.....	10
2.2 Postup při výrobě technického sněhu.....	12
2.3 Rozdílné vlastnosti technického a přírodního sněhu.....	14
2.4 Dopady zasněžování na přírodní sféru.....	17
Vliv na hydrosféru.....	17
Vliv na půdu a vegetaci.....	21
Vliv na faunu v blízkém okolí sjezdových tratí.....	23
Vliv hluku a světelného znečištění.....	23
Spotřeba energie.....	24
2.5 Klimatické změny a jejich dopad na zasněžování.....	25
3 Data a metody.....	30
3.1 Obecná charakteristika dotčených povodí.....	30
Geografická poloha.....	30
Geomorfologie a geologie.....	31
Hydrologie.....	32
Vegetace.....	35
3.2 Zdroje dat .....	35
3.3 Metodika zpracování dat.....	36
Metodika hodnocení odtokových režimů.....	36
Metodika hodnocení odběrů vody pro technické zasněžování.....	37
Metodika porovnání měsíčních průtoků a odběrů vody pro technické zasněžování.....	38
4 Výsledky.....	39
4.1 Hodnocení variability měsíčních průtoků.....	39
Průměrné roční průtoky.....	45
4.2 Hodnocení odběrů vody pro technické zasněžování.....	48
Hodnocení odběrů vody v Krkonoších za období hydrologických let 2002-2012.....	48
Hodnocení odběru vody pro technické zasněžování v jednotlivých povodích.....	50
Porovnání povolených ročních a měsíčních odběrů se skutečnými odběry vody.....	53
4.3 Porovnání měsíčních a ročních průtoků s odběry vody pro technické zasněžování.....	55
Porovnání minimálních měsíčních průtoků s měsíčními odběry vody.....	55
5 Diskuze.....	58
6 Závěr.....	60
7 Seznam literatury.....	61

## SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK

*Obr. 1: Prvky zasněžovacího systému z roku 1954*

*Obr. 2: Pět fází výroby sněhu*

*Obr. 3: Struktura přírodního a technického sněhu*

*Obr. 4: Vybrané vlastnosti čtyř typů sněhu*

*Obr. 5: Retenční nádrž Maroly (Horní Savojsko) s celkovým objemem 300 000 m<sup>3</sup>*

*Obr. 6: Výstavba největší francouzské retenční nádrže l'Adret des Tuffes*

*Obr. 7: Vliv zasněžování na odtokovou výšku v měsíci s největším vlivem*

*Obr. 8: Teoretický odběr vody pro technické zasněžování z celkové odtokové výšky v měsíci s největším vlivem*

*Obr. 9: Růst ploch zasněžovaných sjezdovek a instalovaného výkonu sněžných děl ve Francii od roku 1979*

*Obr. 10: Spotřeba elektrické energie při zasněžování ve Francii od roku 1993*

*Obr. 11: Rozsah sněhové pokrývky od března do dubna na severní polokouli*

*Obr. 12: Poloha jednotlivých povodí*

*Obr. 13: Geologické podloží vybraných povodí*

*Obr. 14: Sklonitostní poměry vybraných povodí*

*Obr. 15: Vegetační porost*

*Obr. 16: Průměrné měsíční průtoky za období 2003-2012 ve stanici Labe - Vestřev, Úpa – Horní Staré Město, Jizera – Dolní Sytová*

*Obr. 17: Podíl měsíčních odtoků v průběhu roku na jednotlivých tocích za hydrologické období 2003-2012*

*Obr. 18: Podíl ročních období na ročním odtoku jednotlivých toků za hydrologické období 2003-2012*

*Obr. 19: Čáry pravděpodobnosti překročení měsíčních průměrných průtoků*

*Obr. 20: Znázornění odtokové výšky pro jednotlivé stanice za hydrologické období 2004-2012*

*Obr. 21: Průměrný roční průtok v závěrových profilech za období 2004-2011*

*Obr. 22: Odběr vody z horních toků třech povodí za hydrologické roky 2002-2012*

*Obr. 23: Odběry vody pro technické zasněžování podle měsíců za období 2001-2011*

*Obr. 24: Porovnání odběru vody z horních toků v jednotlivých povodích za období 2001-2011 a 2008-2011*

*Obr. 25: Odběr vody ve vybraných zimních střediscích v povodí Labe za období 2007-2011*

*Obr. 26: Odběr vody ve vybraných zimních střediscích v povodí Úpy za období 2007-2011*

*Obr. 27: Odběr vody ve vybraných zimních střediscích v povodí Jizery za období 2008-2011*

*Obr. 28: Povolené a skutečné odběry vody z povodí Labe v letech 2008-2011*

*Obr. 29: Povolené a skutečné odběry vody z povodí Úpy v letech 2008-2011*

*Obr. 30: Povolené a skutečné odběry vody z povodí Jizery v letech 2008-2011*

*Obr. 31: Podíl odebrané vody z měsíčních průtoků v období 2008-2011*

- Tab. 1: Závislost relativní vlhkosti vzduchu a suché teploty vzduchu pro zasnežování*
- Tab. 2: Vypočtené charakteristiky povodí  $\alpha$  pro povodí Labe-Vestřev, Jizera-Dolní Sytová a Úpa-Horní Staré Město*
- Tab. 3: Vybrané ukazatele protáhlosti povodí*
- Tab. 4: Průměrný a maximální sklon povodí*
- Tab. 5: Statistické charakteristiky měsíčních a ročních průtoků v jednotlivých stanicích*
- Tab. 6: Koeficient  $K_r$  pro jednotlivé toky za období 2004-2011*
- Tab. 7: Klasifikace vodnosti roků podle  $p\%$*
- Tab. 8: Míra vodnosti toku Labe v profilu Vestřev v letech 2004-2011*
- Tab. 9: Míra vodnosti toku Úpa v profilu Horní Staré Město v letech 2004-2011*
- Tab. 10: Míra vodnosti toku Jizera v profilu Dolní Sytová v letech 2004-2011*
- Tab. 11: Celková četnost výskytu ročních průtoků podle míry jejich vodnosti za daná povodí v období 2004-2011*
- Tab. 12: Procentuální úhrn srážek v Královehradeckém a Libereckém kraji ve srovnání s dlouhodobým normálem za období 1961-1990*
- Tab. 13: Porovnání minimálních lednových a únorových průtoků s měsíčním odběrem vody za období 2008-2012*



# **1 Úvod**

V dnešní době jsou kladeny velké nároky na kvalitu a dlouhodobé trvání sněhové pokrývky nejen v našich horách. Mnohdy přírodní podmínky neumožní uspokojit lyžaře a provozovatele lyžařských areálů, tudíž přichází na řadu technika. S rozvojem technického zasněžování přicházejí ale také nepříznivé vlivy ovlivňující naši přírodu. Tyto nepříznivé vlivy, jejich dopad na hydrosféru, půdu, vegetaci a faunu na sjezdovkách a v jejich blízkosti jsou obsahem této bakalářské práce. V práci jsou také vzaty v úvahu klimatické změny a jejich dopad na zasněžování.

V případové studii je provedeno hodnocení vlivu zasněžování v lyžařských střediscích v Krkonoších na bilanci odtoku v povodí horního toku Labe, horní Jizery a horní Úpy. Hodnocení je znázorněno pomocí variability odtoku ve stanici Vestřev na řece Labi, ve stanici Horní Staré Město na řece Úpě a ve stanici Dolní Sytová na řece Jizeře a odběrů vody v jednotlivých střediscích.

## **1.1 Cíle práce**

Tato bakalářská práce má dva hlavní cíle. Prvním cílem práce je na základě rešerše odborné české i zahraniční literatury shrnutí dostupných poznatků o výrobě a vlastnostech technického sněhu a jeho vlivu na jednotlivé přírodní sféry. Druhým cílem je zhodnocení variability odtokového režimu v porovnání s odběry vody v povodí horního Labe, horní Jizery a horní Úpy.

## **1.2 Struktura práce**

Práce je rozdělena do dvou hlavních částí. První část je rešerše odborné literatury, druhá část je doplnění první části o praktický výzkum. Výsledky výzkumu jsou porovnány s výsledky publikovanými v odborné literatuře. Obě části jsou doplněny názornými obrázky a grafy.

## 2 Současný stav výzkumu technického sněhu

### 2.1 Historie a současnost umělého zasněžování

Počátek historie umělého zasněžování nalezneme na Severoamerickém kontinentě. První umělý sníh byl vyroben v Mohawk Mountain v Connecticutu ve Spojených státech amerických v roce 1947 (Jones, Devarenes, 1995). Tento sníh pro lyžování byl vyroben drčením ledu, což byla velmi nákladná záležitost a sníh nedosahoval vhodných parametrů. Ve čtyřicátých letech 20. století byly prováděny další pokusy o výrobu v Kanadě a Spojených státech amerických. Konkrétní zmínka z Bostonu (Paccard, 2010) z roku 1950 udává, že bratři Tropeanové, majitelé společnosti specializované na zemědělské zavlažovací systémy, vyrobili umělý sníh nedopatřením, když ošetřovali ovocné stromy postřikem proti mrazu. V průběhu ošetřování došlo ke snížení teploty vzduchu a na místo vody dopadal na stromy umělý sníh.

O čtyři roky později získal 27. dubna první patent na výrobu sněhu a jeho distribuci Wayne Pierce. V jeho dokumentaci (Paccard, 2010, obr. 1) lze najít systémové prvky obdobné dnešním užívaným při výrobě sněhu – zásobárnu vody, čerpadla, trysky pro rozprašování vody umístěné na pohybujících se lyžinách a rozvodnou síť vody a vzduchu po celé délce svahu.

**Obr. 1:** *Prvky zasněžovacího systému z roku 1954 (Paccard, 2010, upraveno). Č. 11 – zásobárna vody, č. 13 – čerpadlo, č. 17-32 – rozvodná síť, č. 33-37 – pohyblivé zařízení pro instalaci trysek, č. 38 – lyžiny, č. 39 – rozprašovací trysky*



K rozvoji zasněžovacích systémů dochází především kvůli snížení nezávislosti na klimatických podmínkách. Nejprve docházelo k rozšiřování ve Spojených státech amerických, v 60. letech pak můžeme sledovat rozvoj i v Kanadě. V následujícím desetiletí se zasněžování přesouvá přes oceán do Evropy, především do Alp a Skandinávie (Hahn, 2004).

Na evropském kontinentě se první pokusy objevily ve východní části Francie v Champ de Feu, kde od roku 1963 bylo po 3 roky zasněžováno 550 m sjezdové tratě čtyřmi sněhovými děly. Dalším francouzským areálem s pěti sněžnými děly byl v Burgundsku Haut-Folin (Zezula, 2011). V Alpách se poprvé zasněžovalo o rok později v lyžařském areálu Megeve. Pokusy pokrýt svah technickým sněhem se objevovaly také v Německu, Itálii nebo Rakousku. Tyto pokusy pak vyvrcholily prvním neexperimentálním zasněžováním sjezdovky Mephisto ve městě Flaine v Horním Savojsku, kde bylo umělým sněhem pokryto více než 14 hektarů plochy s převýšením přes 600 m. Tento proces byl ovšem spjat s otázkami efektivních provozních a investičních nákladů i s ostychem prvních lyžařů (Paccard, 2010).

K ještě většímu rozmachu dochází po teplých nebo srážkově chudých zimních obdobích, kdy nemohla být uspokojena přání lyžařů. Příkladem takového období může být konec 80. let (Hahn, 2004).

Umělé zasněžování v České republice je spojeno se jménem profesora ČVUT Vladimírem Chlumským, který se pokoušel o výrobu umělého sněhu na našem území (Zezula, 2011). V roce 1965 nechal do krušnohorského zimního střediska v Zadní Telnici dovézt první exemplář sněžného děla a se svými kolegy z ČVUT vyrobil další tři kusy uzpůsobené místním podmínkám. Další sněžná děla se objevila například ve Špindlerově Mlýně, kde zasněžovala skokanské můstky i část sjezdovky nebo v roce 1983 na Šumavě ve sportovním areálu Špičák, v Novém Městě na Moravě nebo v Hlinsku (Zezula, 2011).

V současné době stále dochází k procentuálnímu nárůstu zasněžovaných ploch. Podle Rixena et al. (2008) bylo v 80. letech např. v USA uměle zasněžováno 60 % sjezdovek, ve Švýcarsku tento podíl nedosahoval ani 19 % všech švýcarských sjezdovek. Ovšem jak uvádí Scott a McBoyle (2007) ve své studii, za posledních 30 let došlo k rozvoji také v jiných regionech (např. Austrálie, Japonsko). Dnes na západě USA je podíl zasněžovaných sjezdovek 66 %, na jihovýchodě 95 %, na středním západě 98 % nebo v Rocky Mountain 89 % (Steiger, 2011). Naopak ve Švýcarsku se tento podíl vyšplhal jen na 33 %, ještě nižší procentuální podíl z alpské oblasti udává jižní Německo (17 %), ve Francii je to 20 %, v Rakousku 66 % a nejvíce umělého sněhu produkuje Itálie – 75 %. Podle Pütze et al. (2011) je v italských Alpách až 100 % technického sněhu.

V České republice se technické zasněžování rozmáhá v posledním desetiletí. Procentuální podíl zasněžovaných sjezdových tratí se liší areál od areálu. Například v Krkonoších najdeme více jak deset areálů, které zasněžují 100 % svých sjezdovek (Harrachov, Velká Úpa, Rejdice). Značná část krkonošských lyžařských středisek zasněžuje více jak tři čtvrtiny své rozlohy (Žacléř, Vítkovice, Janské Lázně). Ostatní areály se pohybují v rozmezí 45-70 % (Špindlerův Mlýn, Malá Úpa, Paseky nad Jizerou) nebo technický sníh

nevyužívají vůbec (Pěnkavčí vrch – Velká Úpa, Luisino údolí – Dolní Dvůr, Studenov – Rokytnice nad Jizerou) (Novický et al., 2009).

## 2.2 Postup při výrobě technického sněhu

V současné době se zvyšují požadavky na kvalitu sněhu, úpravu sjezdovky, ale i na délku lyžařské sezony. S tímto tlakem dochází k nárůstu zasněžovacích děl a nutné infrastruktury. Do této infrastruktury patří distribuční sítě pro rozvod vzduchu a vody po celé zasněžované ploše, měřicí přístroje na kontrolu a optimalizaci průběžných zasněžovacích podmínek (průtok, teplota, tlak), strojovny i zásobárny vody (retenční nádrže, přehrady, toky, rozvodové sítě pitné vody).

Současné moderní technologie nabízí dvě základní možnosti výroby technického sněhu. Jedná se o monokapalinové (nizkotlaké) nebo bikapalinové (vysokotlaké).

Monokapalinová technologie využívá pouze vody, která je pod tlakem 10-65 barů rozprašována do okolí. Výsledkem je vznik ledových krystalků. Na sjezdovce toto zařízení poznáme podle klasického sněžného děla, které je buď stabilní nebo mobilní. U těchto děl se můžeme spolehnout na dobrou kvalitu sněhu, výrobu ještě v limitních teplotách nebo výrobu při snížené kvalitě vody. Naopak limitující může být vysoká hmotnost děl nebo nutnost manipulace (Paccard, 2010).

Bikapalinová technologie využívá kromě vody ještě složku vzduchu. Pro výrobu sněhu je možné použít dva principy. Prvním je užití směšovací komory, kde jsou obě složky pod tlakem 6-12 barů smíchány a poté uvolněny do vzduchu za vzniku ledových krystalů nebo druhým způsobem, kdy je vzduch stlačován samostatně (15-65 barů), poté následně vypuštěn do okolí a v první chvíli je do něho přimíchán proud vody, díky němuž se vytvoří ledové krystalky. Tyto technologie se používají u dlouhých zasněžovacích tyčí. Výhodou těchto tyčí je nižší pořizovací cena a snadná manipulace, naopak jsou velmi málo tolerantní na zvýšenou teplotu vzduchu.

Třetí neobvyklá technologie je energeticky velmi nákladná. Ve zkratce je to drcení ledu vytvořeného chlazením vody freony při  $-25^{\circ}\text{C}$  na kovovém válci a následné seškrabování (Paccard, 2010). Tento proces je stoprocentně nezávislý na klimatických podmínkách, avšak kvůli vysokým nákladům využíván pouze sporadicky (př. zasněžování v indoorových lyžařských parcích v Japonsku).

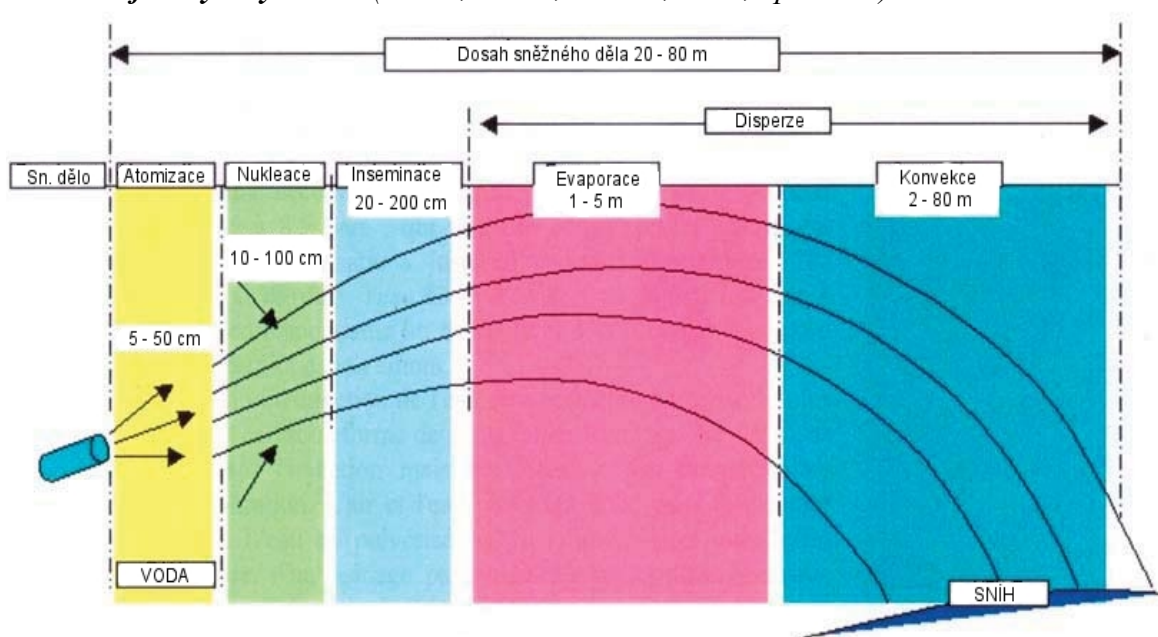
Voda při transformaci ve sníh prochází pěti fázemi (obr. 2), které jsou popsány v následujících odstavcích (Paccard, 2010):

- První fází je proces zvaný atomizace (fragmentace), za kterého dochází k rozprašování vody pomocí trysek (na kapičky o průměru 0,2 – 0,8 mm). Díky menšímu průměru je krystalizace kapek snadnější.
- Druhou fází je nukleace. Tento proces probíhá společně s atomizací. Výsledkem je produkce směsi vody a vzduchu. Atomizované kapičky tvoří krystalizační jádra.

- Ve třetí fázi inseminaci dochází k nabourání rovnovážného stavu kapiček, což vyvolá zmrazení.
- Čtvrtou fází je evapotranspirace, kdy při rozptýlení kapiček do ovzduší dochází k odpařování vnější části. Odpařování vede ke snížení teploty kapky a proto dochází k jejímu zmrazení. Tady můžeme pozorovat první klimatickou podmínku, tedy čím sušší vzduch, tím lépe dochází k mrznutí kapiček.
- Pátou fází je konvekce. Při této fázi dochází k výměně tepla mezi kapičkami a okolním vzduchem. Při chladnější vzduchu, je produkce sněhu efektivnější.

Po dopadu na zem nastává poslední proces, proces zrání, během kterého dochází k promrznutí kondenzačního jádra i zevnitř.

**Obr. 2: Pět fází výroby sněhu** (Badré, Prime, Ribiere, 2009, upraveno)



Z předchozích řádků vyplývá, že důležitým faktorem pro výrobu technického sněhu jsou aktuální meteorologické podmínky. Dva hlavní faktory tvoří teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Jejich poměr pro zasněžování může být rozdílný a vyjadřuje se tzv. vlhkou teplotou (tab. 1). Při teplotě  $-2^{\circ}\text{C}$  lze zasněžovat pokud je relativní vlhkost 60 %, při teplotě  $-4^{\circ}\text{C}$  lze zasněžovat i při 100% vlhkosti (Paccard, 2010).

**Tab. 1: Závislost relativní vlhkosti vzduchu a suché teploty vzduchu pro zasněžování (Paccard, 2010, upraveno). Hodnoty v tabulce vyjadřují vlhkou teplotu. Čím je nižší relativní vlhkost vzduchu, tím je nižší vlhká teplota. Modrá barva znázorňuje nejvhodnější podmínky pro zasněžování, červená nejhorší.**

relativní vlhkost (%) teplota vzduchu (°C)	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
-9	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9
-8	-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8
-7	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7
-6	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6
-5	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5
-4	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4
-3	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3
-2	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-2
-1	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1
0	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0
1	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	1
2	-4	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	2	2	2
3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	3	3	3
4	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4

V dnešní technicky pokročilé době již ani teplota není omezujícím faktorem. V Zermattu probíhá testování výroby umělého sněhu při plusových teplotách. Vznik této myšlenky se zrodil při aplikaci stroje na odsolování vody v Jižní Africe, kdy jako vedlejší efekt procesu odsolování vody vznikl sníh i na horké africké půdě (Thorne, 2008). Na trh byl uveden zasněžovací systém pracující na vakuovém principu. Je zde uplatněn princip trojného bodu vody, při kterém se umělý sníh získává. Tato technologie by měla být ekonomickou i ekologickou. Ovšem prozatím je využívána pouze na ledovcích v lyžařských střediscích v Zermattu a Pitztal.

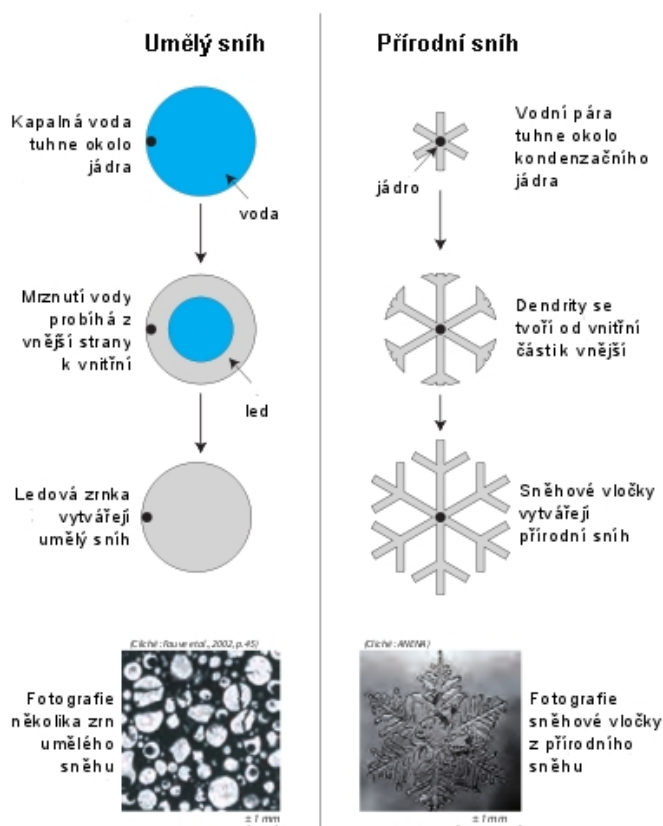
Dalšími faktory, které mají vliv na výrobu technického sněhu je atmosférický tlak a vítr. Při nižším tlaku je účinnější chladicí výkon, tudíž jsou příznivější podmínky pro výrobu. Stejně tak příznivější podmínky jsou za mírného větru, kdy jsou kondenzační jádra přemísťována do větších vzdáleností a je tak umožněno vyšší uvolňování tepla z jader. U silného větru zase naopak hrozí riziko návěje na zasněžovacím zařízení nebo transport krystalků mimo sjezdovku (Paccard, 2010).

### 2.3 Rozdílné vlastnosti technického a přírodního sněhu

Technický sníh má jiné fyzikální a chemické vlastnosti než přírodní sníh. Základním pozorovatelným rozdílem je tvar jednotlivých sněhových zrn. Při výrobě technického sněhu dochází k mrznutí z vnější části kapky. Tudíž dochází k tvorbě pravidelné kulové struktury (obr. 3). Naopak je to u přírodního sněhu, kdy vločka vzniká postupným nárůstem od středu a

struktura je dendritická (Kocková, 2008). Další odlišností mezi technickým a přírodním sněhem je jeho chemické složení. V technickém sněhu najdeme mnohem více minerálů a iontů, které se vyskytují ve vodě využívané pro zasněžování (Wipf et al., 2007). Dochází tedy i k rozdílu pH mezi technickým a přírodním sněhem. Technický sníh je více zásaditější, jelikož je vyráběn z povrchové vody (Kocková, 2008).

**Obr. 3: Struktura přírodního a technického sněhu (Paccard, 2010, upraveno)**



Mezi nejvýraznější rozdíly patří hustota. Přírodní sníh má v jednotlivých sněhových vločkách dostatek prostoru pro vzduchové částice, proto se jeho hustota pohybuje pouze okolo  $100\text{--}400\text{ kg.m}^{-3}$ . Hustota nového sněhu se pohybuje do  $100\text{ kg.m}^{-3}$ , naopak hustota mokrého sněhu nebo firnu překračuje hodnotu  $400\text{ kg.m}^{-3}$  (Singh, Singh, 2001). Hustota technického sněhu se pohybuje v rozmezí od 400 do  $490\text{ kg.m}^{-3}$ .

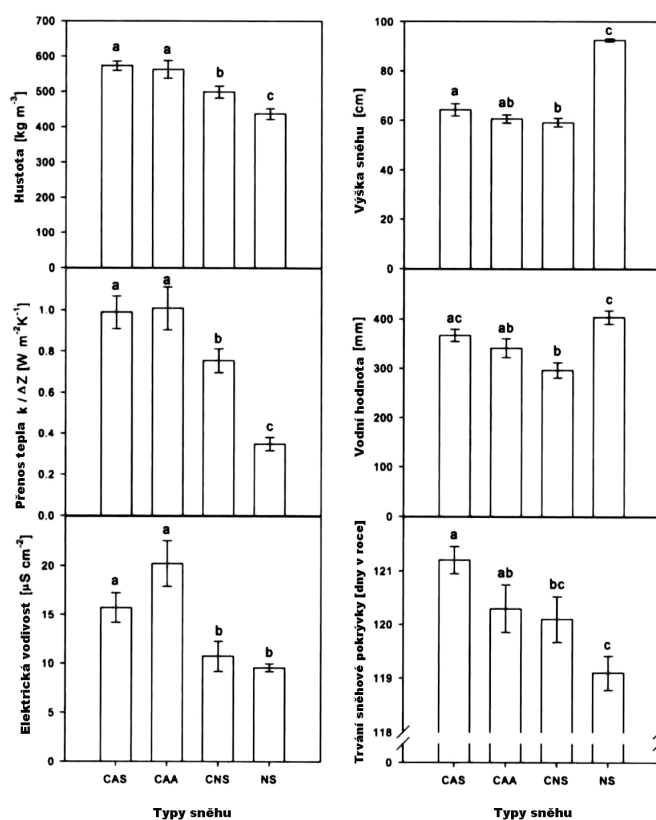
S hustotou sněhu souvisí také přímo úměrně tepelná vodivost. Tímto jevem může být ohrožena půda a vegetace pod sněhovou pokrývkou, které jsou vlivem vyšší hustoty vystaveny nižším teplotám (Stockli, Rixen, 2000). Při úpravě sjezdovky těžkou technikou může půdní vrstva promrznout i na méně než  $-10^{\circ}\text{C}$ , kdežto při běžných podmínkách v přírodě teplota půdy pod bod mrazu klesá pouze výjimečně (Wipf et al., 2005).



Při zrání technického sněhu dochází ke vzniku ledových mostů mezi jednotlivými zrny, které přispívají k vyšší tvrdosti vyrobeného sněhu. Tato tvrdost (až 35 N) dosahuje dvakrát vyšších hodnot než u sněhu přírodního (Paccard, 2010). Další vlastností technického sněhu je jeho pomalé tání na konci sezony, které vyplývá z výšky sněhové pokrývky a jejího zhutnění těžkou technikou (Kocková, 2008).

Na obrázku 4 můžeme na grafech vidět výše zmíněné vlastnosti 4 typů sněhu (Rixen et al., 2008).

**Obr. 4: Vybrané vlastnosti čtyř typů sněhu** (Rixen et al., 2008, upraveno). CAS je upravený umělý sníh (compacted artificial snow), CAA je upravený umělý sníh s aditivy (compacted artificial snow with snow additives), CNS je upravený přírodní sníh (compacted natural snow) a NS je neupravený přírodní sníh (uncompacted natural snow).





## 2.4 Dopady zasněžování na přírodní sféru

### Vliv na hydrosféru

Podle Zeivanda a de Smedta (2009) bylo o vlivu lyžování a technického zasněžování na hydrologii a kvalitu vody napsáno velmi málo publikací. Z dostupných materiálů lze vyčíst informace o odběru vody, o změně životních podmínek v tocích, o výstavbě retenčních nádrží, o ohrožení zásob pitné vody pro obyvatelstvo a podobně.

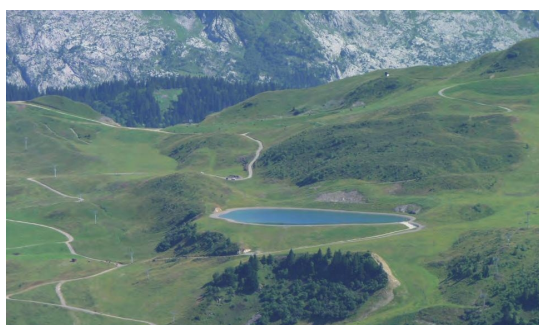
Na přírodu je vyvíjen velký tlak na využívání přírodních zdrojů nebo případně na výstavbu retenčních nádrží (Chlapek et al., 2009). Existuje několik možností zásobování a jejich negativní vlivy na krajinu. Celková spotřeba vody se, díky rozrůstání areálů vybavených zasněžovací technikou, stále zvyšuje. Na zasněžení jednoho metru krychlového sjezdovky je potřeba 200-500 l vody, což odpovídá 600 000-1 500 000 l pro 1 hektar sjezdovky při zasněžovací výšce 30 cm sněhu (Rixen et al., 2011). Toto číslo se mění s průběhem sezony. Na počátku sezony se sněží nejvíce. Poté se číslo postupně snižuje (Vanham et al., 2009).

První způsob zásobování vodou je přímý odběr vody z povrchových nebo podzemních toků. Tento způsob odběru má zřejmě největší dopad na životní prostředí. Se současným posunem sněžení do začátku prosince dochází ke shodě období nejnižších průtoků v tocích a nejintenzivnějších odběrů vody pro zasněžování. Přestože kumulativní součet průtoků z většího povodí nemusí být dramatický, lokální odběr vody může mít vážné následky pro říční ekosystém (de Jong, 2007). Negativní dopad má i transport vody. Prvním dopadem může být transport na dlouhé vzdálenosti i za hranice dílčích povodí, druhým dopadem může být položení vodovodního potrubí po sjezdovce, které může zasáhnout do podzemních toků a toto přímé položení potrubí také urychluje odtok. Podle výzkumu švýcarského Institutu pro výzkum sněhu a lavin (Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF) je odtok na konci sezony ze sjezdovky uměle zasněžované až o 30 % vyšší než ze sjezdovky se sněhem pouze přírodním (de Jong, 2007). Při zasněžování sjezdovky se spotřeba vody z jednotlivých toků pohybuje mezi 4-90 l/s v závislosti na ploše sjezdovky a výkonnosti sněžných děl (Chlapek et al., 2009).

Druhým způsobem je odběr z retenčních nádrží. Dnes je to velice oblíbený zdroj, jelikož je zde možné zadržovat vodu, když je jí dostatek a následně využít při nedostatku. Tento zdroj navíc slouží až do jarních měsíců. Nejvíce vody se však užívá na přelomu listopadu a prosince, kdy jsou v tocích nejnižší roční průtoky (Paccard, 2010). Zdrojem pro plnění těchto nádrží je buď voda povrchová nebo voda z rozvodných sítí pitné vody a k plnění dochází několikrát za sezonu. Na dně takovéto nádrže je umístěno probublávající zařízení, které umožňuje, za stálého míchání vodou, udržet vhodnou teplotu pro zasněžování v celém objemu nádrže. Tyto nádrže se výjimečně používají jako zdroj pitné vody nebo jako zdroj pro zavlažování v případě neupotřebení veškeré vody pro zasněžování. Přestože po roce 1990 došlo například ve Francii k obrovskému nárůstu výstavby těchto nádrží (dnes 73 nádrží

s uloženým objemem vody 3 667 764 m<sup>3</sup> vody), mají i tyto nádrže negativní dopad na přírodní prostředí. Tyto nádrže jsou umělé, při budování tedy dochází k jistým zásahům do krajiny, například při stavbě největší nádrže s objemem 404 000 m<sup>3</sup> (obr. 5, 6) musel být zásah do krajiny patrný. Druhým negativní vlivem, po záboru půdy pro výstavbu nádrží, je riziko protržení hráze a vyplavení blízkého okolí, ve kterém se často nacházejí zimní střediska. Proti takovému nebezpečí existuje několik stavebních úprav, jako je například povodňový přepad, rychlovypouštěcí zařízení, bariérové ochrany okolí a hlavně monitorovací systém případného úniku vody. Příklady retenčních nádrží pro umělé zasněžování můžeme najít i v České republice – Černá hora, Javorník, Klínovec a mnohé další (Andrle, 2012).

**Obr. 5: Retenční nádrž Maroly (Horní Savojsko) s celkovým objemem 300 000 m<sup>3</sup> (Paccard, 2010)**



**Obr. 6: Výstavba největší francouzské retenční nádrže l'Adret des Tuffes (Paccard, 2010)**



Třetím způsobem je odběr ze sítě pitné vody. Sítě pitné vody nejsou nijak omezené vůči odběru vody pro zasněžování. Největším problémem může být nedostatek vody v síti, tudíž ohrožení obyvatelstva nedostatkem vody. V tom případě jsou provozovatelé vleků povinni zastavit sněžná děla a dát přednost zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Tento případ nastal například v roce 2007 ve městě Les Gets v Horním Savojsku (Paccard, 2010).

Výroba sněhu má určitý vliv na kvalitativní i kvantitativní vlastnosti vody. Jako kvantitativní vliv můžeme vzít v úvahu odpařování vody při výrobě sněhu a také v průběhu sezony, když sníh leží na sjezdovkách. Tato voda se sice dostane zpět do hydrologického cyklu, ale v jiném místě a jiném čase než při jejím odběru (Paccard, 2010). Podle Hahna (2004) není dodržován odběr vody při stanovení hranice minimálního průtoku. A může tak

dojít k ohrožení zoobentosu, ale i dostatku pitné vody pro obyvatelstvo. Ztráta vody při umělém zasněžování se odhaduje na 13–37 % vody z celkového objemu vody potřebného k výrobě sněhu. Podle studie Wempla et al. (2007) vzrostl odtok z povodí díky rozvoji lyžování až o třetinu. Došlo nejen k nárůstu sněhové pokrývky, ale také ke zvýšení nepropustných povrchů další infrastruktury. Dále také uvádí přispívání ke zvýšení povodňového rizika rozvinutím infrastruktury a rekreace, které mají vliv na lokální hydrologii, erozi a odnos sedimentů.

Podle Paccarda (2010) nedochází k žádným ztrátám vody z hydrologického systému. Voda odebraná ze systému pro výrobu technického sněhu se ze 70–90 % vrátí do půdy. Zbýlých 10–30 % se v závislosti na teplotě vzduchu a vlhkosti vypaří. Navrátí se tedy do koloběhu bez ztráty jakéhokoli podílu. Jiný pohled má de Jong (2007), která ve své práci uvádí, že po experimentálních měřeních odpařování vody, evapotranspirace a sublimace sněhu v evropských Alpách a marockém Velkém Atlasu, se opravdu až 30 % odpaří a vrátí do systému později, ale právě zde vidí problém. Oněch 30 % vody totiž chybí v zimních měsících v horských tocích.

Kvalitativní změny můžeme pozorovat především v biologické rozmanitosti vodních ekosystémů. Snížení kvality vody může být následkem použití biologických nebo chemických přípravků, které umožňují zasněžování v neobvyklých podmínkách. Mezi nejznámější patří Snomax, což je produkt bakteriálního původu, který urychluje proces nukleace. Podle Paccarda (2010) není dostatečně prokázáno, zda dané sterilizované bakterie mají nějaký vliv na vodu, půdu nebo vegetaci. V roce 1991 byly ve Francii prokázány výhody využívání Snomaxu (větší flexibilita výroby, zlepšení kvality sněhu, jednoduchost používání, ekonomický růst). Od roku 2005 francouzští vlekáři tvrdí, že Snomax při výrobě sněhu nepoužívají. Používání Snomaxu není zakázáno, ale dnes je ve Francii podporována kampaň: umělý sníh je voda a vzduch.

Mezi další aditiva pro udržování kvalitních sjezdových tratí se používají i chemické přípravky jako je například dusičnan amonný, který působí jako hnojivo (Kocková, 2008) nebo chlorid amonný, v lyžařské terminologii známý jako salmiak (Andrle, 2012).

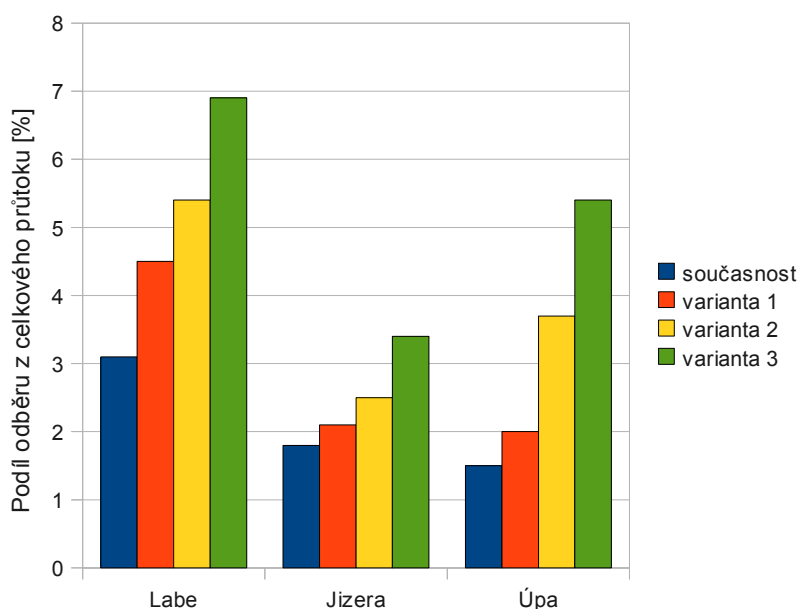
Významným zásahem do hydrologického režimu může být kácení stromů a terénní úpravy, při kterých dochází k vysychání nebo snížení vydatnosti pramenišť, zrychlení odtoku vody z bezlesých svahů nebo se snižuje schopnost vsakování. Při jarních deštích hrozí riziko povodní, hlavně kvůli stlačenému sněhu, který snižuje schopnost jímat vodu (Flousek, Harčarik, 2009).

Podle Prognostická studie o vlivu odběru vody pro technické zasněžování na průtoky hlavních krkonošských toků k roku 2025 (Novický et al., 2009) bylo sledováno několik faktorů, které mají vliv na hydrologický režim vybraných horských povodí. Vliv technického zasněžování na odtokovou výšku byl pouze minimální. Při odběrech vody ve stanici Vestřev by byl zaznamenán pokles odtokové výšky z horního povodí Labe o 5,4 % protékající vody. Toto číslo by se mohlo zvýšit na 6,2 %, pokud by došlo ke 100% zasněžování všech krkonošských sjezdovek. K dalšímu zvýšení by došlo za předpokladu dvojnásobného odběru

pro zasněžování. Výsledných 12,4 % by již nebylo nezanedbatelných a zásah do odtoku by byl již znatelný.

V obrázku 7 je znázorněno množství odebírané vody z měsíčních průtoků v jednotlivých hydrologických stanicích. Další varianty zobrazují možné procento odběru vody při budoucím zvýšení zasněžování. V současnosti jsou odebírána z povodí Labe 3 % z celkového průtoku. Pro řeku Jizeru je tato hodnota těsně pod hranicí 2 %, na řece Úpě je to 1,5 %.

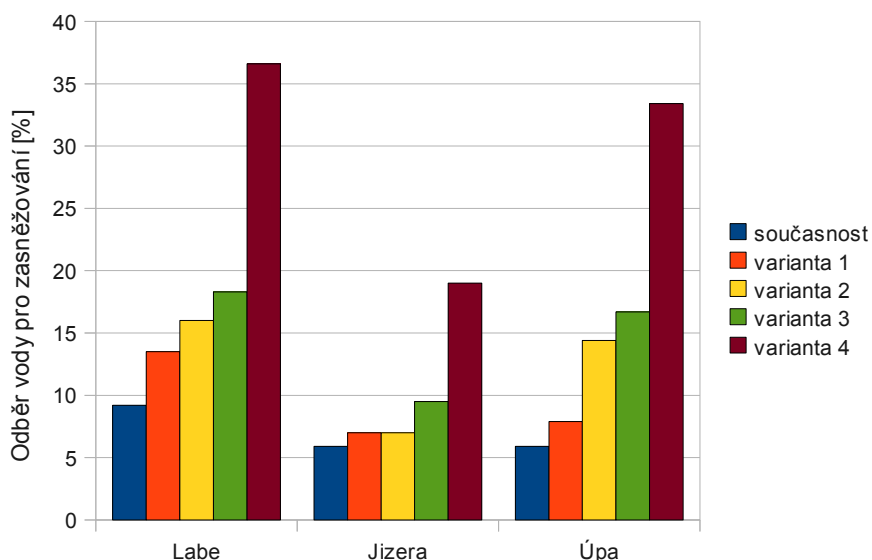
**Obr. 7: Vliv zasněžování na odtokovou výšku v měsíci s největším vlivem. Současnost – známé procento odebírané vody, varianta 1 – předpoklad odběru vody při zasněžování 100 % sjezdovek při známém procentu zasněžovaných sjezdovek, varianta 2 – předpoklad odběru vody při zasněžování 100 % sjezdovek s odhadnutou délkou zasněžovaných sjezdovek, varianta 3 – předpoklad odběru vody při 100% zasněžování nově navržených a neschválených sjezdovek**



Prognostická studie se dále zabývá vlivem odběrů vody pro zasněžování na minimální průtoky. Zde už dochází k větším zásahům (obr. 8). Například na horním toku Labe v době s největším odběrem může být odebráno až 9,2 % z odtokové výšky. Při 100% zasněžování se tento vliv může dostat až k hranici 13,5 % odtokové výšky. Při výstavbě nových uvažovaných sjezdovek, které by byly také ze 100 % zasněžovány, by došlo ke snížení odtokové výšky ve stanici Vestřev o 18,3 %, ve stanici Horní Staré Město o 16,7 % z odtokové výšky a 9,5 % z odtokové výšky ve stanici Dolní Sytová. Poměrně vysoká čísla se objevují při předpokladu dvojnásobného zvýšení odběru vody pro zasněžování. Zde se v povodí horní Jizery dostaneme na 19 %, v povodí horní Úpy na 33,4 % a v povodí horního Labe až dokonce na 36,6 %.

Všechna tato čísla jsou zatížena velkou nejistotou, jelikož nejsou k dispozici přesné údaje o odtokové výšce z povodí a taktéž přesné údaje o skutečném odběru vody.

**Obr. 8: Teoretický odběr vody pro technické zasněžování z celkové odtokové výšky v měsíci s největším vlivem.** *Současnost – známé procento odebírané vody, varianta 1 – předpoklad odběru při zasněžování 100 % sjezdovek, varianta 2 – předpoklad při 100% zasněžování sjezdovek (1 km vleku = 1,66 km sjezdovky), varianta 3 – předpoklad výstavby navržených sjezdovek se 100 % zasněžením, varianta 4 – dvojnásobná varianta 3.*



### Vliv na půdu a vegetaci

Vlivy umělého zasněžování na půdu a vegetaci je nutné považovat za dlouhodobé a kumulativní procesy, při kterých se následky mohou projevit i po několika desítkách let. Se zasněžováním a udržitelným rozvojem cestovního ruchu přicházejí i ekologické problémy ohrožující půdu a vegetaci. Mezi tyto hlavní problémy patří zvýšená eroze na odlesněných svazích, trvalé změny v krajinném rázu, zmenšení lesní plochy a ovlivnění ekologické stability a problematika biotechnologií při péči o sjezdové tratě (Štursa, 2007).

Při výrobě technického sněhu dochází na sjezdovce k hromadění až dvakrát většímu množství vody než poskytuje přírodní sníh (Kocková, 2008). Sněhová pokrývka na zasněžované sjezdovce je vyšší a má i větší hustotu. S vyšší hustotou sněhu roste teplotní vodivost, která ale s větší výškou sněhu naopak klesá (Rixen, Stoeckli, Ammann, 2003). Zvýšením teplotní vodivosti půd vlivem vyšší hustoty sněhu může dojít k poklesu teploty půdy až pod bod mrazu, poklesu mineralizace a následnému zpožděnému růstu nebo mechanickému poškození rostlin (Rixen et al., 2008; Rixen et al., 2011). Jak uvádí Kammer (2002) k poškození rostlin dochází kvůli chybějícímu kyslíku, který nemůže prostupovat

hustou sněhovou pokrývkou a ledovými vrstvami a s nedostatkem kyslíku souvisí vyšší koncentrace oxidu uhličitého. Tyto podmínky ohrožují výskyt méně odolných druhů rostlin.

Podle evropské studie o změnách flory po 22 letech umělého zasněžování (Kammer, 2002) závisí variabilita rostlin také na sklonu, nadmořské výšce a úpravě sjezdových tratí. Za tuto dobu je možné pozorovat rozdílné změny na sjezdovkách a mimo ně. Nejvyšší variabilitu lze pozorovat na loukách bohatých na živiny, dále na suchých loukách a subalpinských pastvinách. Obecně na uměle zasněžovaných sjezdovkách klesá rostlinná diverzita (klesá počet nízkonutričních, mezofilních a nitrofilních druhů). Wipf et al. (2005) uvádí pokles druhové rozmanitosti až o 11 %. Některé vzácné druhy rostlin postupně lokálně vymírají. Na strmějších svazích, které v létě slouží jako pastviny, rostou spíše suchomilnější rostliny (Kammer, 2002).

Během jarního tání uměle zasněžovaných sjezdovek, ke kterému dochází o 2–4 týdny později, se do půdy dostává velké množství živin (Kocková, 2008). Ještě delší dobu jarního tání uvádí Flousek a Harčarik (2009) a to až 6 týdnů. Delší sněhová pokrývka vede ke zkrácení vegetační doby rostlin, zvyšuje se počet pozdě kvetoucích druhů a druhů přizpůsobených k růstu po dlouhotrvající sněhové pokrývce (tzv. snowbed species). Naopak dochází ke snižování druhů přizpůsobených nízké sněhové pokrývce a mrazům (tzv. wind edge species) a brzo kvetoucím druhům rostlin (Kocková, 2008; Wipf et al., 2005).

Významným rizikem je používání těžké techniky na úpravu sjezdovek a běžný provoz lyžařů. Lyžování na nedostatečné sněhové pokrývce může způsobit disturbance jak vegetace, tak půdy. K mechanickému poškození dochází v zimním období při rolbování tratí a lyžování, i v letním období, kdy jsou odstraňovány nerovnosti na svahu. (Flousek, Harčarik, 2009).

Dalším problémem vyskytujícím se v našich horách může být kácení lesních porostů pro uvolnění místa novým sjezdovým tratím, které s sebou opět přináší riziko narušení stanovištních podmínek, vodních poměrů či ochrany půd, jako je eroze nebo zatravňování nepůvodními směsmi (Chlapek et al., 2009). Fragmentace lesa negativně působí na biodiverzitu a ekologickou stabilitu lesa. Les se stává náchylnější na rozpad okolního lesa vlivem bořivých větrů, na ohrožení kůrovcem nebo škodlivé imise pronikající do hloubky lesa. Neméně nebezpečné jsou sjezdovky na loukách. Zde dochází k výstavbě vleků a lanovek, terénním úpravám sjezdovek nebo rozvodům technického zasněžování, které také narušují stabilitu a diverzitu luk (Flousek, Harčarik, 2009).

V americké studii Burta a Riceho (2009) jsou popisovány dva základní přístupy úpravy sjezdovek. Při prvním je pouze kácena vysoká vegetace, nedochází tedy k porušování půdy. Při následném vývoji dochází k sekundární sukcesi, převládá růst trvalek, polokeřů a keřů. U druhého způsobu je vykácena vysoká vegetace, odstraňovány pařezy, kameny, zlomové hrany a jiné nerovnosti, při kterých dojde k narušení půdních horizontů. Sukcese na těchto plochách je primární a obnova porostu trvá několik desítek let.

Ve Skotsku bylo dokázáno, že půda tamních sjezdových tratí je rozrušená tak, že zadrží menší obsah vody, méně jemných půdních částic i organické hmoty. S intenzivnější úpravou sjezdovek klesá schopnost zadržení vody na svahu (Pintar, Mali, Kraigher, 2009).

Lagriffoul et al. (2010) ve své práci zmiňují také negativní dopad aditiv používaných při zasněžování. Chemické přípravky, jako jsou soli, mohou být na chlorové nebo dusíkaté bázi. Tyto přípravky jsou rozprostírány na povrch sjezdovek pro jejich zpevnění především při závodech. Pozitivním vlivem je vyšší růst biomasy, ovšem zároveň dochází ke snižování druhové rozmanitosti, což jako pozitivní dopad brát nemůžeme.

Vzhledem k poničenosti vegetace sjezdových tratí je vidět částečná snaha opravit napáchané škody (Flousek, Harčarik, 2009). Velké plochy sjezdovek jsou zatravňovány umělou směsí, která ovšem nenabízí původní, ani nikterak pestré osivo. Naopak dalším negativem může být vytlačení zbylé původní vegetace.

Pozitivní vlivy zasněžování sjezdovek na vegetaci lze ukázat na příkladu Ramzové v Jeseníkách. V zasněžovaných lokalitách se vyskytují různé druhy plavuníků, vranec jedlový nebo plavuň vidlačka. V Červenohorském sedle došlo k rozšíření ohroženého hořečku nahořklého. Obdobným příkladem jsou sjezdovky pod Kralickým Sněžníkem nebo v Krkonoších. Tyto úkazy jsou ale spíše výjimečné (Chlapek et al., 2009).

### **Vliv na faunu v blízkém okolí sjezdových tratí**

S vegetací v okolí lyžařských areálů je úzce spjatá i fauna. O prokazatelném úbytku zajíců, kamzíků, jelenů se zmiňuje ve své práci Paccard (Paccard, 2010 in Hahn, 2004). Je znám také pokles počtu a diverzity lučních a lesních ptáků i některých bezobratlých. Úbytek je způsoben nejen ztrátou domoviny nebo lidským ohrožením, ale také rušivým nočním osvětlením, hlukem a zmenšením životního prostoru při vykácení lesa (Flousek, Harčarik, 2009). Negativní dopadem průseku sjezdovek je přerušení kontinuálního prostoru. Tento efekt může být eliminován zanecháním vegetačních ostrůvků, které přitahují drobné hlodavce. Kvůli disturbancím sjezdovek se můžeme setkat také s menším výskytem brouků nebo pavouků. Jako bioindikátory ve změně pH půd na sjezdovkách se ukazují žížaly, které jsou zde v menším počtu než mimo sjezdovky (Kocková, 2011). Podle studií prováděných v Krkonoších dochází v říčních tocích k ohrožení různých druhů ryb a dalších drobných živočichů (Andrle, 2012).

### **Vliv hluku a světelného znečištění**

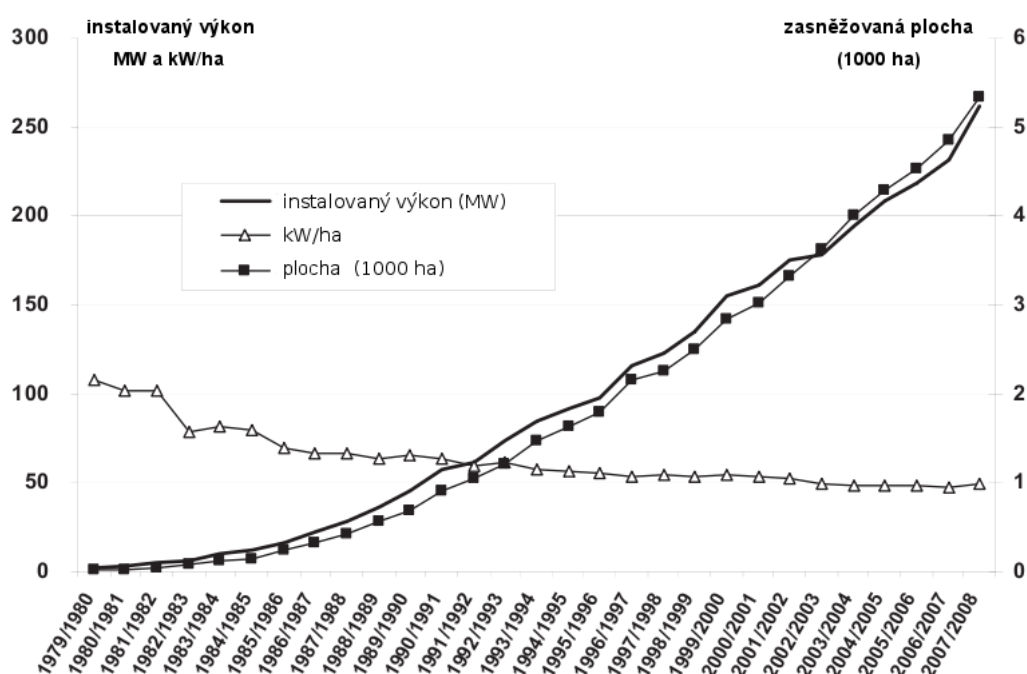
Tento jev se vyskytuje převážně ve večerních nebo nočních hodinách, kdy jsou v provozu sněžná děla, rolby nebo je v provozu večerní lyžování. Nejvíce postiženými místy jsou údolí, ve kterých se zvuk rozléhá až na několik kilometrů. U vysokotlakých sněžných děl intenzita zvuku dosahuje 92–94 dB, u nízkotlakých může překročit i 115 dB (Hahn, 2004).

Intenzita osvětlení bývá až dvakrát vyšší než je nutná a ovlivňuje nejen blízké okolí sjezdovky. Světelné paprsky v některých případech překračují i hranice pohoří (Flousek, Harčarik, 2009).

## Spotřeba energie

Výroba umělého sněhu, využívající vodních čerpadel, vzduchových kompresorů a ventilátorů, spotřebovává elektrickou energii (Badré, Prime, Ribiere, 2009). Z obrázku 9 je patrné, že instalovaný výkon energie stoupá rovnoměrně se zasněžovanou plochou. Výkon elektrické energie na 1 hektar se uvádí 50 kW.

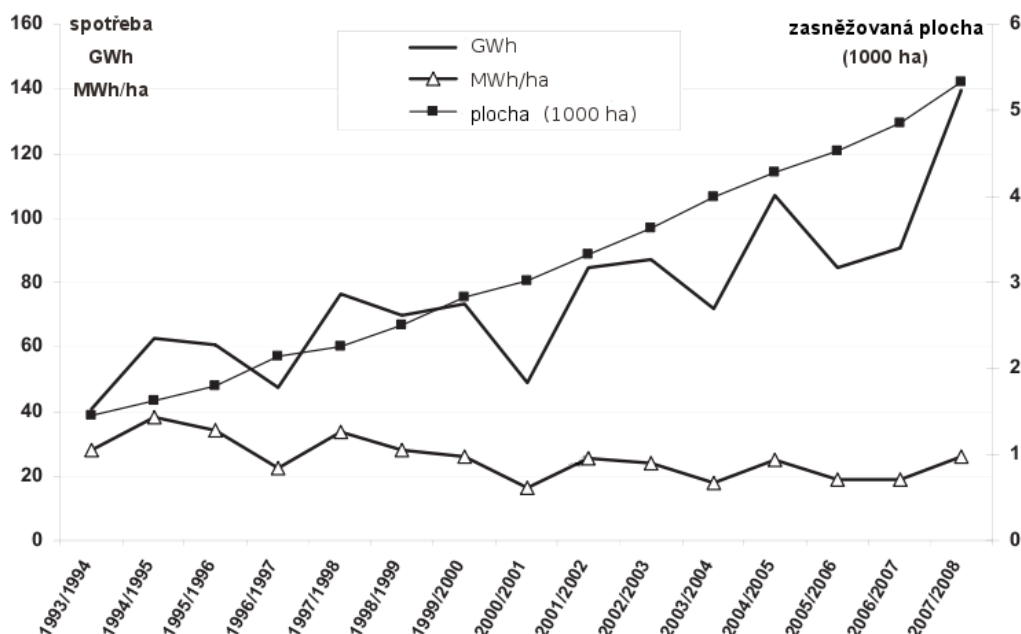
**Obr. 9: Růst ploch zasněžovaných sjezdovek a instalovaného výkonu sněžných děl ve Francii od roku 1979 (Badré, Prime, Ribiere, 2009, upraveno)**



Spotřeba elektrické energie již není tak rovnoměrná jako instalovaný výkon (obr. 10). Můžeme pozorovat meziroční výkyvy způsobené rozdílným počasím a provozní dobou. Celková spotřeba má rostoucí tendenci, což souvisí s instalováním nových sněžných děl (Badré, Prime, Ribiere, 2009). Výše spotřeby odpovídá velikosti areálů a podílu zasněžování. Podle Rixena et al. (2011) je u konkrétního příkladu ze Švýcarska využito 0,6 % z obecní spotřeby pro umělé zasněžování (např. bydlení 32,5 %, provoz lanovek 2,4 %), tedy pro 1 m<sup>3</sup> technického sněhu se spotřeba energie pohybuje mezi 1,5–9 kWh, což odpovídá 5 000–27 000 kWh na 1 hektar při sněhové pokrývce 30 cm.



**Obr. 10: Spotřeba elektrické energie při zasněžování ve Francii od roku 1993 (Badré, Prime, Ribiere, 2009, upraveno)**



## 2.5 Klimatické změny a jejich dopad na zasněžování

Globální klimatické změny můžeme pozorovat v mnoha oblastech životního prostředí. Zásah do vodního režimu, lesního hospodářství, změny kvality vod, zvyšování hladin moří a oceánů nebo zásobování potravinami, to vše je dnes považováno za možné ohrožení. Dnes mezi nejvíce sledované změny klimatu patří nárůst teploty vzduchu (ČHMÚ, 2012). Podle čtvrté zprávy IPCC 2007 se průměrná globální teplota zvýšila o 0,74°C za posledních sto let. Oteplování za posledních padesát let postupuje s trendem +0,13°C za desetiletí. Globální teplota se podle IPCC 2007 (Pachauri, Reisinger, 2007) bude zvyšovat o 0,2°C/10 let. Do roku 2100 tak dosáhne 1,1°C až 6,4°C. Růst teplot můžeme sledovat na celé planetě, nejvíce však ve vyšších severních zeměpisných šířkách a také více na pevnině než v oceánech. Značný vliv na tyto předpoklady má množství emisí skleníkových plynů.

K dalším změnám klimatu ovlivňující nejen technické zasněžování patří změna úhrnu a prostorového rozložení srážek. Od roku 1900 jsou zaznamenány dlouhodobé změny srážek. V některých oblastech jako je například východní část Severní i Jižní Ameriky nebo severní Evropy dochází k významnému nárůstu srážek. Naopak k jejich úbytku dochází v oblasti Sahelu, Středozemního moře nebo v Jižní Africe. Od 70. let 20. století dochází také k nárůstu období s intenzivními a dlouhodobými suchy a to především v tropech a subtropích. Tyto změny jsou spojené s vyšší teplotou vzduchu, nižším úhrnem srážek a také se změnou

povrchové teploty oceánů, se změnami atmosférické cirkulace a se snížením rozsahu a tloušťky sněhové pokrývky (ČHMÚ, 2012).

Se srážkami také souvisí jejich extremita. Ve středních a vysokých zeměpisných šířkách především na severní polokouli došlo ke zvýšení podílu extrémních srážek na celkových ročních úhrnech o 2 až 4 % (ČHMÚ, 2012). V některých oblastech (např. ve východní Asii) došlo ke zvýšení četnosti extrémních srážek, nikoli pak ke zvýšení celkového ročního úhrnu. Na řadě míst ve východní Asii došlo se zvýšením četností extrémních srážek dokonce ke snížení celkového ročního úhrnu.

Za další klimatickou změnu v globálním měřítku můžeme považovat zvyšování hladiny moře. Ta je způsobena zvýšeným obsahem vodní páry v atmosféře, zvýšením teploty oceánů v hloubkách větších než 3 000 m a absorpcí více než 80 % tepla z klimatického systému (ČHMÚ, 2012). Tyto jevy vedou k větší tepelné roztažnosti a tudíž zvyšování globální mořské hladiny. Za posledních padesát let došlo každý rok ke zvýšení o průměrných 1,8 mm za rok. Od roku 2003 se zvyšuje vodní hladina o 2,4 – 3,8 mm za rok díky tepelné roztažnosti, tání ledovců, ledových čepic a polárních ledových příkrovů (Pachauri, Reisinger, 2007).

Vlivem klimatických změn můžeme pozorovat změnu v rozsahu sněhu a ledu. Univerzita v Curychu zkoumá ledovce od roku 1850 (Badré, Prime, Ribiere, 2009). Na severní polokouli lze pomocí satelitních měření z období 1966 až 2005 pozorovat změnu sněhové pokrývky, kdy se od konce 80. let snižuje průměrně o 5 % její plochy za rok (obr. 11). Dochází také ke snižování plochy alpských ledovců. K 35% úbytku celkové plochy ledovců došlo v rozmezí let 1850 - 1970 a k roku 2000 dokonce k úbytku 50 % (Badré, Prime, Ribiere, 2009).

Pro doložení změn klimatu v České republice byly použity výsledky měření z celé národní staniční sítě. Bylo zaznamenáno zvýšení průměrné roční teploty za poslední dvě desetiletí (ČHMÚ, 2012). V zimních měsících byly pozorovatelné větší výkyvy průměrné teploty vzduchu než v letních měsících. V uplynulých padesáti letech se průměrná roční teplota zvyšuje o 0,3°C za deset let. V České republice můžeme také pozorovat vyšší extremitu teploty vzduchu. Sledujeme nárůst teplých dní, tzv. letních dnů na našem území přibýlo 13 oproti standardu, tropických dní je o 6 více. Na druhé straně došlo k poklesu průměrného počtu mrazových dní o 8 oproti standardu a o 3 ledové dny.

Klimatické změny můžeme pozorovat i v oblasti srážek. Od 90. let 20. století dochází k poklesu srážek v období od dubna do června, naopak zvýšené úhrny jsou zaznamenávány na konci zimy, především v březnu, také v červenci a na počátku srpna (ČHMÚ, 2012). Celkově tedy dochází k mírnému nárůstu ročního úhrnu srážek. Ovšem nedochází ke změně ročního chodu srážek, který vykazuje maximum srážek v létě, minimum v zimě.

Očekávané dopady změny klimatu v České republice můžeme předvídat ve vodním a lesním hospodářství, zemědělství, energetice nebo v rekreaci a turismu. Největší změny mohou být pozorovány ve vodním hospodářství, například na kvalitě a kvantitě vody, stavu vodních zdrojů, dostupnosti a spotřebě vody. Změna vodního režimu má značné regionální

aspekty. Může dojít ke zvyšování nebo snižování průtoků. Nebezpečným faktorem u vysokých průtoků může být zvýšené riziko povodní nebo zvýšená eroze. Podle nejpesimističtějších klimatických scénářů (ČHMÚ, 2012) můžeme při snížení průtoků (až o 40 %) očekávat pokles zásob podzemních vod, změnu ročních chodů odtoků, kvalitu povrchových vod (s vyšší teplotou se zvyšuje eutrofizace) a podobně.

Odběr vody pro zasněžování ovlivňuje denní průtoky především od října do dubna. Ve studii Fialy, Ouardy, Hladného (2010), která se zabývá sezonalitou minimálních průtoků, je patrné, že hlavní minimální průtoky ze 144 stanic na území České republiky jsou zaznamenány v letním období, především v srpnu. Tyto nízké průtoky jsou zapříčiněny nedostatkem srážek a vysokými teplotami. Druhotné minimální průtoky můžeme pozorovat v zimním období především v lednu, kdy je voda zadržována ve sněhové pokrývce nebo může docházet k zamrzání řek vedoucí ke snižování průtoků.

Klimatické změny přinášejí riziko do zimního turismu, do lyžařských středisek. Zimní turistika závisí na dobrých sněhových podmínkách a je velmi citlivá na nedostatek sněhu. Lyžařské areály se začaly přizpůsobovat případné změně klimatu jako je oteplování, tání ledovců, ubývání srážek, snižování sněhové pokrývky nebo zvyšování extrémních výkyvů počasí (Bürki, Elsasser, Abegg, 2003). Růst zasněžovací techniky a areálů s umělým zasněžováním za posledních dvacet let značně narostl (Vanham, Fleischhacker, Rauch, 2009; Pütz, 2011). Podle studie Rixena et al. (2011) dojde v následujících letech ke zvýšení rizika z nedostatku přírodního sněhu. Například v Německu je možné očekávat snížení přírodní sněhové pokrývky až o 60 %, na rozdíl od Švýcarska, kde tato hodnota dosahuje pouze 10 %.

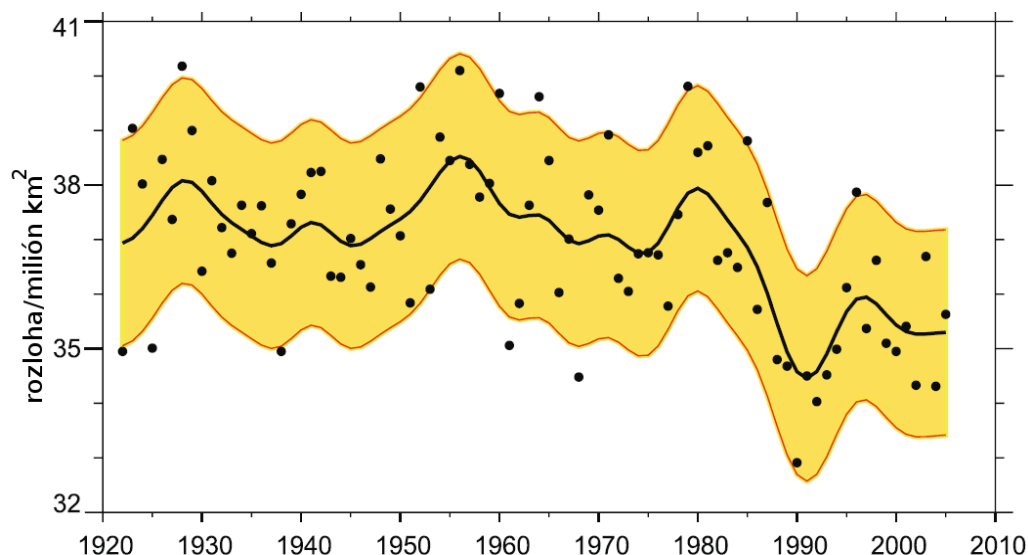
Při předpokládaném teplotním růstu 4°C se posune hranice sněhové spolehlivosti z 1200 m n. m. v centrálních Alpách na 1800 m n. m. a v jižních Alpách dokonce na 2100 m n. m. (Pütz, 2011). Ve Švýcarsku je dnes z 230 areálů považováno 85 % za schopné provozovat lyžařskou sezónu bez problémů. Při zvýšení této hranice spolehlivosti na 1500 m n. m. by se snížilo procento vhodných areálů na 63 % a při zvýšení na 1800 m n. m. dokonce až na 44 % (Bürki, Elsasser, Abegg, 2003). Proto jsou vzaty v úvahu studie o otevření vysokohorských lyžařských areálů (tj. nad hranicí 3500 m n. m.).

Klimatická změna může mít tři různé dopady na hydrologický režim a zasněžování (Badré, Prime, Ribiere, 2009) :

- snižuje množství sněhu
- snižuje plochy využitelné pro zasněžování
- má vliv na dostupnost vodních zdrojů, včetně tání ledovců

Sněhová pokrývka výrazně klesá od 80. let pod hranicí 1300 m n. m. Ve vyšších nadmořských výškách je průměrný pokles spíše v brzké zimě, což není rozhodující pro zimní sezónu (Rixen et al., 2011). Do budoucna jsou nejvíce ohroženy sjezdovky v nižších nadmořských výškách. Zasněžování na níže položených místech (pod 1200 m) bude možné jen na stinných svazích (Vanham, Fleischhacker, Rauch, 2009).

**Obr. 11: Rozsah sněhové pokrývky od března do dubna na severní polokouli (Badré, Prime, Ribiere, 2009, upraveno). Hlavní křivka znázorňuje desetileté průměrné hodnoty, jednotlivé body znázorňují roční hodnoty, vybarvená plocha znázorňuje interval neurčitosti odhadovaný z komplexní analýzy časových řad.**



Pro mnoho horských oblastí je lyžování, snowboarding nebo běžecké lyžování jediným zdrojem příjmů. Úspěšnost lyžařských středisek závisí na dobrých sněhových podmínkách (Bürki, Elsasser, Abegg, 2003). Technické zasněžování se dnes stává důležitým měřítkem kvality lyžařského střediska. Se snižující se sněhovou spolehlivostí, sezónní variabilitou počasí a zvyšujícími se zákaznickými požadavky není jednoduché udržet areál na vysoké úrovni v poskytování služeb. Zasněžování je v dnešní době relativní jistotou pro spuštění lyžařské sezony. Pro efektivní zasněžování horských svahů platí 100 denní pravidlo, které v roce 1986 navrhl Witmer (Vanham et al., 2009). Toto pravidlo říká, že pro úspěšný provoz lyžařského areálu je potřeba trvání sněhové pokrývky (s výškou 30 cm) alespoň 100 dní za sezonu (Vanham et al., 2009). Abegg (1996) dodává, že trvání musí být mezi 16.12. - 15.4. během sedmi z deseti let.

Steiger, Mayer (2008) uvádějí tři faktory ovlivňující rozšiřování zasněžovací techniky. Prvním faktorem je již zmíněná změna klimatu, druhým nedostatečné střednědobé investice do zasněžování a posledním faktorem byla investice do kvality sněhu (po prvních obavách ze špatných klimatických podmínek). Již na konci 80. let, kdy byly v Evropě teplé zimy, byla rozšiřována zasněžovací technika z důvodu snížení závislosti na přírodním sněhu, tudíž snížení podnikatelského rizika. Současným nastoleným trendem jsou velké investice do zasněžování s relativně velkým podílem zásobování přírodním sněhem a zasněžování 90 – 100 % sjezdovek v nově budovaných areálech. V nadmořské výšce od 2000 do 2500 m n. m. bude dostatek přírodního sněhu i při vyplnění nejpesimističtějších scénářů (Steiger, 2011).

Kvantitativní vliv na dostupnost vody pro technické zasněžování má také pokles srážek a zvýšení evapotranspirace. V budoucnosti lze v menším rozsahu očekávat dva důsledky pro zásoby ve vodních zdrojích. Jedním z nich by mohla být modifikace hydrologického režimu (vysychání řek, poklesy hladin v nádržích, nárůst extrémních klimatických situací) a druhým zmenšení plochy ledovců. Tyto důsledky mohou vést ke snížení turistické atraktivity, tudíž k poklesu návštěvnosti (Klug, 2011).

Zajímavý je příklad studie ze Švýcarska, která se zabývala otázkou zimní turistiky a zasněžování (Pütz, 2011). V anketě byla pokládána otázka, zda jsou turisté pro umělé zasněžování v dané lokalitě. 49 % dotázaných návštěvníků hor bylo pro zasněžování (důvody: kvalitní sjezdovky, nutnost při klimatické změně, ekonomický rozvoj) a 40 % bylo proti (důvody: ekologie, užívání těžké techniky). V roce 1990 bylo proti zasněžování ještě 57 % lyžařů (Pütz, 2011).

Druhým příkladem může být výzkum v Austrálii (König, 1998). Ve třech lyžařských střediscích v Novém Jižním Walesu se ukázalo, že s budoucí klimatickou změnou by mohl nastat úpadek australského lyžování. 44 % respondentů by přestalo navštěvovat australské lyžařské areály. 38 % z nich by využilo podobných služeb v jiných zámořských oblastech a 6 % by se tohoto sportu vzdalo úplně. 56 % lyžařů by zůstalo věrných lyžování ve své zemi, ale 31 % lidí odpovědělo, že by lyžování omezili. Rozhodujícím faktorem pro výběr lyžařského areálu by bylo množství technického sněhu a cena permanentky.

Jiný příklad uvádí Flousek a Harčarik (2009) ve své práci. Při výstavbě nového lyžařského areálu v ČR nemusí nutně dojít k rozvoji regionu. Daně z prosperujícího areálu dnes putují do regionu, kde firma sídlí, což často nebývá právě daný lyžařský region. Tudíž je na místních obyvatelích, aby provozovali ubytovací, stravovací zařízení a další služby, tak aby je život v dané lokalitě uživil. Například v Krkonoších je na cestovní ruch vázáno asi 80 % místních obyvatel. Což by mohlo mít při omezení zimní turistiky v této oblasti nepříjemné důsledky při budoucích klimatických změnách.

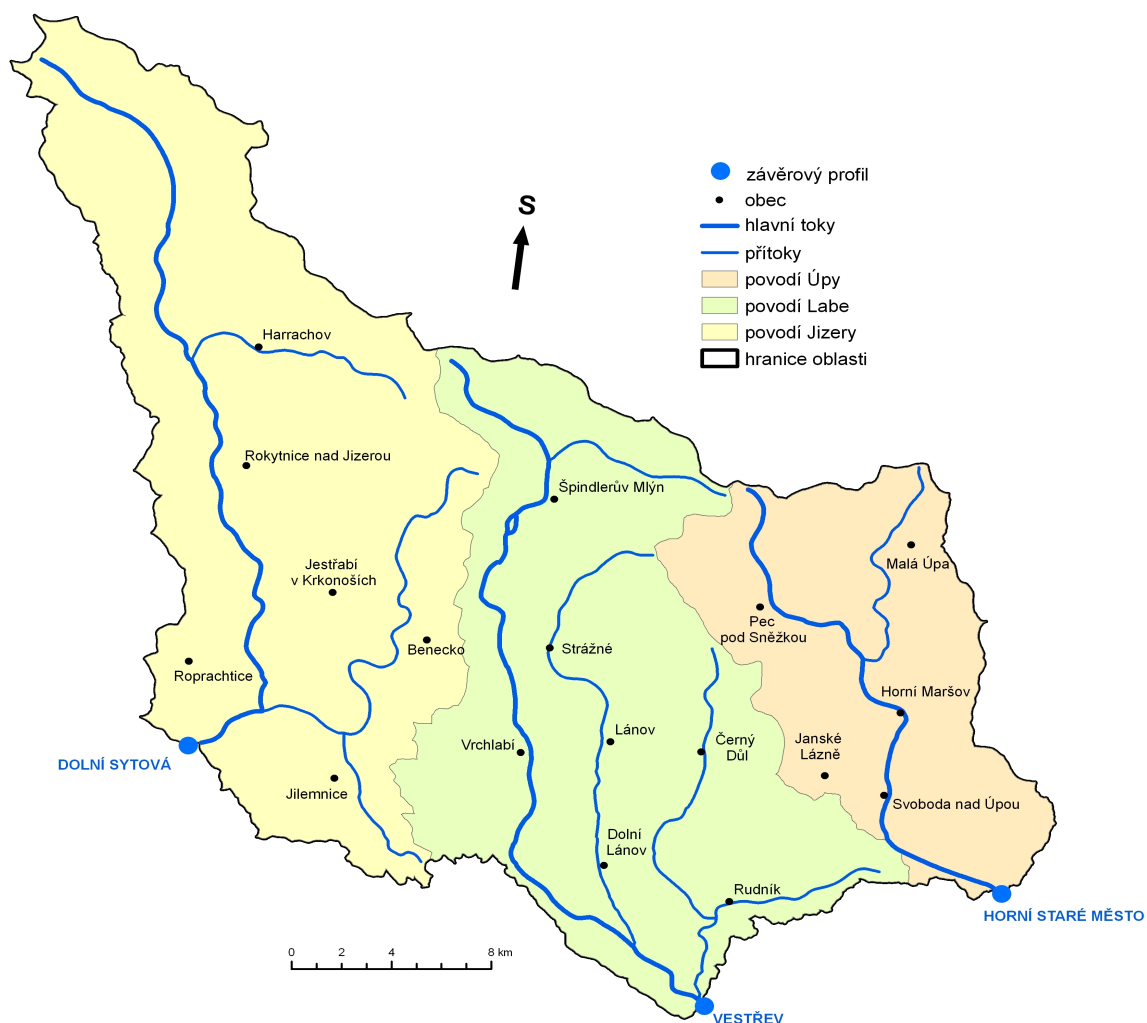
### 3 Data a metody

#### 3.1 Obecná charakteristika dotčených povodí

##### Geografická poloha

Vybraná povodí se rozprostírají od západu k východu po celé šířce Krkonoš (obr. 12). Největší plochu zabírá povodí Jizery po závěrový profil Dolní Sytová s 322,15 km<sup>2</sup> (ČHMÚ, 2010) o necelých 23 km<sup>2</sup> je menší povodí Labe po závěrový profil Vestřev a pouhých 144,75 km<sup>2</sup> zabírá povodí Úpy po závěrový profil Horní Staré Město. Celková plocha všech tří povodí je tedy 766,49 km<sup>2</sup>.

**Obr. 12: Poloha jednotlivých povodí (zdroj dat: Národní geoportál INSPIRE)**



Řeka Labe pramení na Labské louce JZ od Violíku v nadmořské výšce 1386,3 m n. m. Zpočátku má řeka charakter horské bystřiny s průměrným sklonem 59,5 ‰ (Simon, 2005). Na 11,6 km se vlévá do přehrady Labská, která má objem 3 miliony m<sup>3</sup> a především ochrannou funkci před povodněmi. Za přehradou se sklon řeky snižuje a po průtoku Labskou soutěskou a městem Vrchlabí odtéká do Podkrkonoší. Nejvyšším bodem horního toku Labe je Luční hora (1555 m n. m.) a závěrovým profilem pro tuto práci byla zvolena hydrologická stanice Vestřev s nadmořskou výškou 331 m n. m.

Řeka Jizera je největším přítokem Labe nad soutokem s Vltavou. Pramení SV od Smrku v Jizerských horách na polské straně ve výšce 919 m n. m. Sklon Jizery v bystřinném toku je 12,2 ‰. Významnými přítoky Jizery jsou Mumlava, Kamenice, Desná a Jizerka. Nejvyšším bodem povodí Jizery je hora Kotel (1435 m n. m.) a nejnižším bodem v této práci je závěrový profil, hydrologická stanice Dolní Sytová (374 m n. m.). Do Labe se vlévá mimo zkoumanou oblast na 141,9 km ve výšce 169 m n. m. v Brandýse nad Labem.

Řeka Úpa je taktéž přítokem Labe. Pramení 2 km západně od Sněžky na Bílé louce. Nejvyšším bodem povodí je zároveň nejvyšší bod České republiky Sněžka (1602 m n. m.). Závěrovým profilem byla vybrána hydrologická stanice Horní Staré Město v nadmořské výšce 435 m n. m. Řeka Úpa je prvním z významných přítoků Labe, jejich soutok se nachází již na 289,7 km.

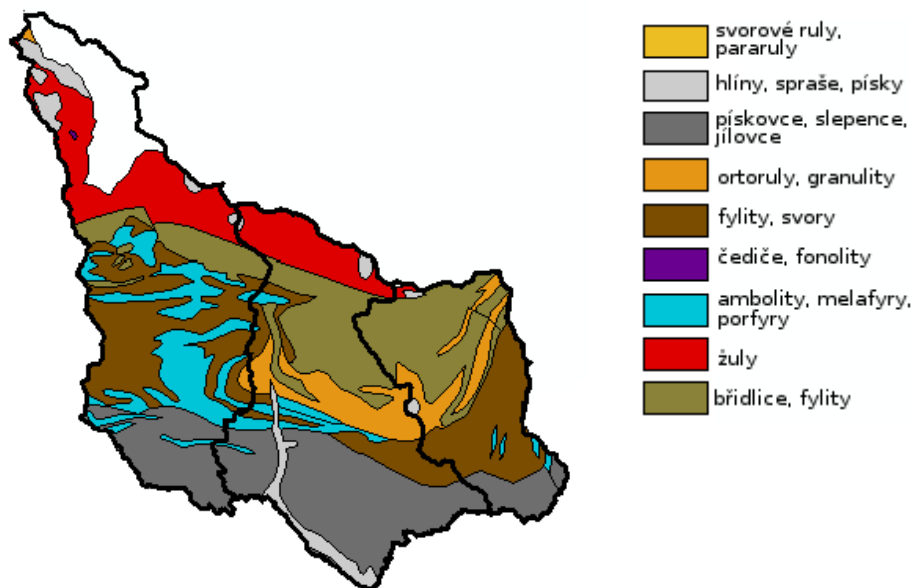
## **Geomorfologie a geologie**

Geomorfologický celek Krkonoš je členitou hornatinou v severních Čechách při hranici s Polskem. Patří do Krkonošsko-jesenické soustavy, která se dále dělí na Krkonošské hřbety (Český a Slezský), Krkonošské rozsochy (např. Černohorská rozsocha, Vlčí hřbet) a Vrchlabskou vrchovinu (Demek, 1987). Geomorfologicky se jedná o kernou hornatinu se zbytky zarovnaného povrchu a mělkých údolních depresí ve vrcholové části. Na severovýchodě jsou Krkonoše omezeny zlomovým svahem probíhajícím ve směru SZ-JV. Jihozápadní svahy jsou rozčleněny hlubokými údolními svahových toků nebo byly přemodelovány údolními ledovci.

Krkonoše byly vyvrátněny před 600 miliony let v období prvohor. Jsou tvořeny převážně krystalickými břidlicemi (hlavně svory), žulami a fylity (David, David, Ludvík, 2010). Mezi nejmladší horniny patří pískovce, slepence a jílovce (obr. 13). Na krkonošském reliéfu se podepsaly nejen údolní zářezy Labe, Úpy a Jizery, ale také čtvrtohorní údolní ledovce (Čihař, 2002). Ve třetihorách se vytvořily zarovnané povrchy, které dodnes můžeme pozorovat v okolí Labské a Luční boudy. Při následném alpínském vrátnění došlo ke zvětšení spádu řek a zvýšené erozi, při které se postupně vytvářela hluboká horská údolí. Na přelomu třetihor a čtvrtohor došlo k ochlazení (Štursa, 2009). Ze severní strany se přiblížil kontinentální ledovec, který ovlivňoval klima Krkonoš. Bylo vytvořeno mnoho glaciálních a periglaciálních tvarů (např. tory – Mužské kameny, mrazové sruby, kryoplanační terasy, kamenné sutě, polygonální mrazové půdy, ledovcové trogy, kary (v Krkonoších nazývány

jámy, př. Úpská, Kotelní jáma) nebo karová jezera na polské straně Krkonoš (Wielky a Maly Staw).

**Obr. 13: Geologické podloží vybraných povodí (zdroj dat: Národní geoportál INSPIRE)**



## Hydrologie

Krkonoše jsou jednou z nejdůležitějších pramenných oblastí ve střední Evropě. Původ říční sítě sahá do třetihorního výzdvihu (Štursa, 2009). V této době se začala formovat typická stromovitá říční síť s hlubokými a úzkými údolími na české straně. Polská strana Krkonoš má podstatně jednodušší členitost říční sítě. Hřeben horstva tvoří evropské rozvodí mezi Baltským a Severním mořem. Říční síť je dotvořena i řadou zajímavých útvarů. Nalezneme zde na dvě desítky vodopádů, můžeme pozorovat četné případy zpětné, hloubkové i boční eroze, obří hrnce a také antropogenní retenční nádrže.

Hodnocení variability odtoku je samostatně v kapitole 4. V následujících řádcích jsou uvedeny vybrané hydrografické charakteristiky.

Mezi základní charakteristiky patří plocha povodí, která poskytuje představu o významu řeky. S její pomocí lze vypočítat některé měrné jednotky odtoku. Podle Netopila (1984) se značí  $F$  (tab. 2). Největší plochu povodí zabírá Jizera, která má po závěrový profil Dolní Sytová 322,15 km<sup>2</sup>. Menší plochu zaujímá povodí horního Labe po závěrový profil Vestřev. Hodnota činí 299,59 km<sup>2</sup>. Povodí Úpy je poloviční než povodí Labe. Plocha povodí činí pouhých 144,75 km<sup>2</sup> po závěrový profil v Horním Starém Městě.



Další charakteristikou povodí může být jeho tvar. Tvar povodí má vliv na velikost průtoků po deštích a při tání sněhu. Jednou z možností určení tvaru povodí je výpočet charakteristiky povodí  $\alpha$  (rovnice 1, Netopil, 1984):

$$\alpha = \frac{F}{L^2} \quad (1)$$

kde F je plocha povodí a L je délka povodí. Jednotlivé tvary povodí uvádí tabulka 2.

**Tab. 2: Vypočtené charakteristiky povodí  $\alpha$  pro povodí Labe-Vestřev, Jizera-Dolní Sytová a Úpa-Horní Staré Město**

tok	plocha povodí F (km <sup>2</sup> )	délka povodí L (km)	charakteristika povodí $\alpha$	typ
Jizera	322,15	40,88	0,19	přechodný
Labe	299,59	30,52	0,32	vějířovitý
Úpa	144,75	20,96	0,33	vějířovitý

Míru členitosti rozvodnice či protáhlosti/kruhovitosti povodí lze určit pomocí Graveliova koeficientu  $K_G$  (rovnice 2, Netopil, 1984):

$$K_G = \frac{L_r}{2\sqrt{PI}} \quad (2)$$

kde  $L_r$  je délka rozvodnice a P je plocha povodí. Z výsledků v tabulce můžeme vyčíst, že nejvíce protáhlé povodí je povodí Jizery, nejbližší hodnotu k číslu 1 má povodí Úpy, ovšem ani toto povodí není kruhového charakteru.

Druhým ukazatelem v tabulce (3) je koeficient protáhlosti povodí  $R_E$  (rovnice 3):

$$R_E = 2 \frac{\sqrt{\frac{P}{\pi}}}{L} \quad (3)$$

kde P je plocha povodí a L je nejkratší vzdálenost od ústí k nejvzdálenějšímu bodu povodí. I tento koeficient potvrzuje největší protáhlost u povodí Jizery. Koeficient 0,64 a 0,65 povodí Labe a Úpy ovšem také nenasvědčuje pravidelné kruhovitosti. Tudíž všechna povodí můžeme definovat jako více či méně protáhlá.

**Tab. 3: Vybrané ukazatele protáhlosti povodí**

Tok	Délka rozvodnice (km)	Graveliův koeficient	Koef. protáhlosti povodí
Jizera	40,88	1,83	0,50
Labe	30,52	1,65	0,64
Úpa	20,96	1,50	0,65

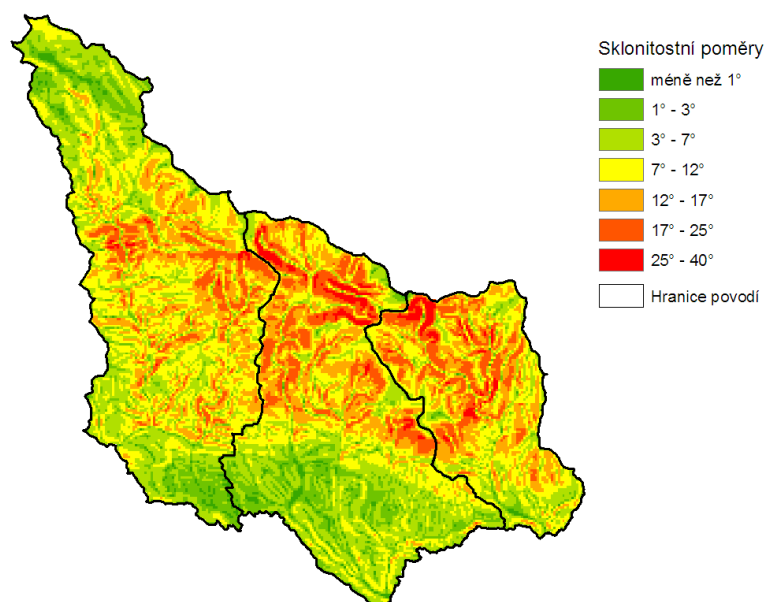
Dále můžeme uvést výškopisné poměry povodí. Minimální a maximální výška již byla rozeepsána v kapitole Geografická poloha. Z rozdílu těchto dvou parametrů lze určit převýšení povodí ( $\Delta h$ ). Pro Jizeru je hodnota převýšení 750 m, pro Úpou 1167 m a pro Labe dokonce 1224 m. Následujícím ukazatelem je koeficient reliéfu  $R_h$ , který udává poměr mezi převýšením v povodí a jeho délkou (rovnice 4):

$$R_h = \frac{\Delta h}{L} \quad (4)$$

kde  $\Delta h$  je rozdíl nejvyššího a nejnižšího bodu v povodí a  $L$  je nejkratší vzdálenost od ústí k nejvzdálenějšímu bodu povodí.

Významnou charakteristikou povodí je i sklon. Nejvyšší sklonitost najdeme v povodí Úpy (obr. 14). Do tohoto povodí patří i nejvyšší česká hora Sněžka. Nejnižší průměrný sklon má povodí Jizery (tab. 4). Průměrný sklon vybrané lokality je  $9,63^\circ$ .

**Obr. 14: Sklonitostní poměry vybraných povodí (zdroj dat: DMÚ 25)**



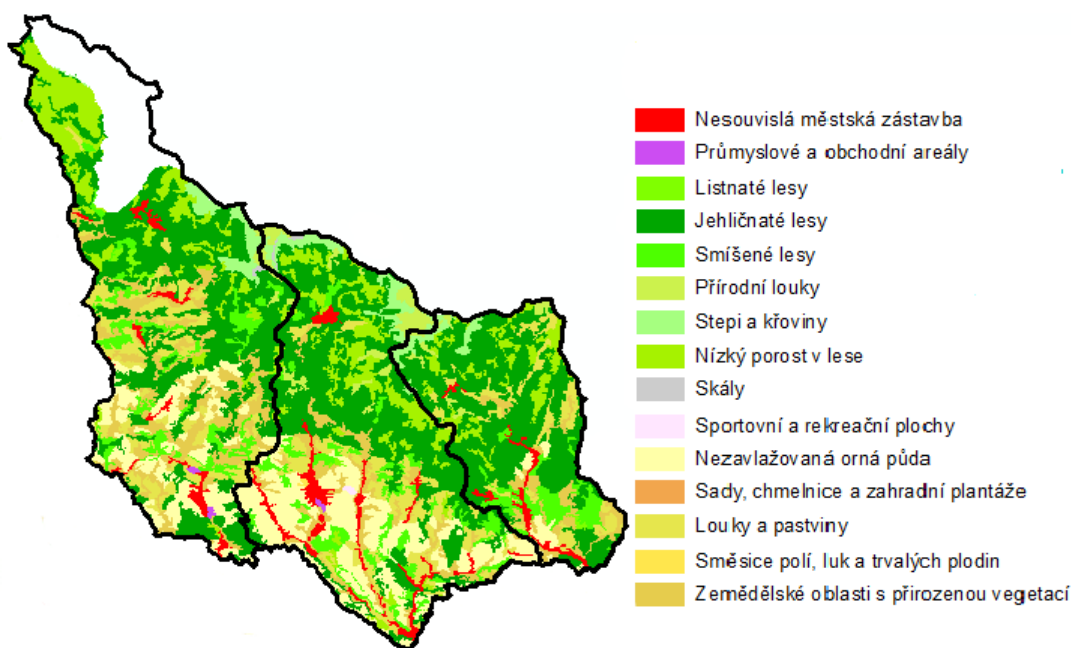
**Tab. 4: Průměrný a maximální sklon povodí**

Povodí	Průměrný sklon [°]	Maximální sklon [°]
Labe	9,29	37,82
Úpa	12,07	40,19
Jizera	8,78	30,95
celkem	9,63	40,19

## Vegetace

Charakter vegetace studované oblasti je dán především klimatem a výškovou členitostí. V oblasti rozeznáváme vegetační stupně submontánní, montánní, subalpínský a alpínský (Správa KRNAP, 2010). Submontánní stupeň sahá do výšky 800 m n. m. Nacházejí se zde listnaté a smíšené lesy s převahou buku, javoru, jasanu, jeřábu a olše (obr. 15). V minulosti však byly vykáceny a dnes jsou částečně nahrazeny převážně smrkovými monokulturami. Montánní stupeň od 800 do 1200 m n. m. zahrnuje především horské smrčiny (přírodního i antropogenního původu). Pro Krkonoše nejcennější vegetační oblastí je subalpínský stupeň (1200-1450 m n. m.). Zde nalezneme klečové porosty, smilkové louky a severská rašeliniště. V těchto lokalitách najdeme nejvíce endemických a reliktních druhů jako je například ostružiník moruška, všivec sudetský nebo jestřábníky. Posledním, nejvyšším vegetačním stupněm je stupeň alpínský. Zde nalezneme nízké bylinné porosty, mechy a lišejníky. Mezi hlavní zástupce patří sítina trojklanná, bika klasnatá či endemické druhy lišejníků.

**Obr. 15: Vegetační porost** (zdroj dat: Národní geoportál INSPIRE)



## 3.2 Zdroje dat

Pro zhodnocení odtokových režimů vybraných povodí bylo použito základních statistických měr variability měsíčních a ročních průtoků z hydrologických stanic. Výběr těchto hydrologických stanic byl zvolen tak, aby byl vhodně zdokumentován odběr vody při zasněžování v zimních měsících a odtok vody z celého povodí při jarním tání. Měsíční průtoky ze stanice Dolní Sytová na řece Jizeře, z druhé stanice Vestřev na řece Labi a ze třetí stanice Horní Staré Město na řece Úpě byly získány od Českého hydrometeorologického ústavu za období začínajícím listopadem 2003 a končícím březnem 2012. Toto období bylo

vybráno z důvodu počátku měření průtoků na hydrologické stanici Vestřev (duben 2003). Dalším důvodem byl rozvoj zasněžování v Krkonoších od roku 2000, kdy s rozvojem zasněžování postupně narůstala i evidence odběrů povrchových vod. V datové řadě hydrologické stanice Horní Staré Město chybí záznamy o měsíčních průtocích od září do listopadu roku 2010. Tato data byla ve výpočtech vynechána. Data za rok 2012 pro všechny stanice nejsou autorizovaná Českým hydrometeorologickým ústavem, oddělením hydrologie. Hodnoty měření těchto posledních tří měsíců se mohou měnit (u stanice Horní Staré Město je velká pravděpodobnost možné změny), tudíž jsou v některých výpočtech a zobrazeních vynechána a je použita řada končící prosincem roku 2011.

Pro zhodnocení odtokových režimů by bylo vhodnější použít měsíční průtoky z horních částí toků, došlo by ke zmenšení ploch povodí a zpřesnění průtokových a odběrových charakteristik. Ve vybrané lokalitě ovšem neexistují kontinuální měření na většině toků, proto musela být v úvahu vzata větší plocha povodí po závěrové profily s vhodnou délkou měřených časových řad.

Data o odběrech vody pro zasněžování z Krkonoš byla poskytnuta Královehradeckou pobočkou Povodí Labe. Evidence odběrů vody pro zasněžování je povinná od roku 2004, do tohoto roku byla povinnost hlásit pouze nadlimitní odběry povrchové vody (tedy odběry nad  $6\,000\text{ m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$  a  $500\text{ m}^3\cdot\text{měsíc}^{-1}$ ). V roce 2007 byl vyhlášen zánik vodoprávních povolení, tudíž narostl počet žadatelů a evidence se od následujícího roku zpřesnila.

Pro vytvoření obrazové dokumentace bylo použito softwaru ArcGIS 9.3 od americké firmy ESRI. Mapové vrstvy byly zobrazeny pomocí WMS služby z mapových serverů Národního portálu INSPIRE a Správy KRNAP.

### 3.3 Metodika zpracování dat

#### Metodika hodnocení odtokových režimů

Hodnocení odtokových režimů pro jednotlivá povodí bylo provedeno pomocí základních měr variability měsíčních, ročních, maximálních a minimálních průtoků.

Mezi základní míry variability měsíčních průtoků bylo zařazeno hodnocení rozložení průměrných měsíčních průtoků v průběhu roku za období 2003-2012, z tohoto grafu (obr. 16) můžeme vyčíst průměrné měsíční minimální a maximální průtoky. Dále byl znázorněn podíl ročních období na celkovém ročním odtoku (obr. 18). Podíl jednotlivých období na celkovém odtoku je rozdělen do 4 kategorií. Podíl ročních období vyšší než 80 % je definován jako velmi nevyrovnaný, v rozmezí 51 – 80 % značně nevyrovnaný, 31 – 50 % mírně nevyrovnaný a v rozmezí 20 – 30 % vyrovnaný. Toto znázornění bylo doplněno výpočtem  $K_r$  koeficientu, který vyjadřuje rozkolísanost odtoku (rovnice 5; Netopil 1970),

$$K_r = \frac{\sum (p_i - 8,3)}{8,3} \quad (5)$$

kde  $p_i$  je procentuální podíl každého z měsíčních odtoků na dlouhodobém průměrném ročním odtoku a hodnota 8,3 zobrazuje průměrný podíl každého z měsíčních odtoků. Hodnota koeficientu se může pohybovat v rozmezí od 0 (velmi vyrovnaný odtok) do 22 (nevyrovnaný odtok). S rostoucí hodnotou roste rozkolísanost odtoku.

Z důvodu chybějících dat denních průtoků bylo využito netradičního způsobu hodnocení měsíčních průtoků. Denní průtoky byly nahrazeny měsíčními a byly tak sestrojeny křivky pravděpodobnosti překročení měsíčních průtoků pro jednotlivé hydrologické stanice (obr. 19). Na ose x se nachází hodnoty pravděpodobnosti překročení ( $v$  %) a na osu y byly vyneseny sestupně seřazené hodnoty průměrných měsíčních průtoků za období 2003-2012 ( $v \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Křivky mají obdobný tvar jako u zobrazení denních průtoků.

Pro hodnocení ročních průtoků byl sestrojen graf zobrazující odtokovou výšku v jednotlivých měsících hydrologických let 2004-2012 (obr. 20). Hydrologický rok 2012 končí měsícem březnem. Pro lepší orientaci v grafu je první měsíc hydrologického roku (listopad) barevně odlišen. Dalším hodnocením variability ročního odtoku je zobrazení ročních průtoků za jednotlivé roky v porovnání všech tří stanic.

Na závěr hodnocení variability průtoků byla použita klasifikace vodnosti roků podle pravděpodobnosti překročení průměrného ročního průtoku. Výpočet pravděpodobnosti překročení průměrného ročního průtoku podle Čegodajeva využívá následující rovnice 6,

$$p = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100 \quad (6)$$

kde  $m$  je pořadí ročních průtoků uspořádaných sestupně a  $n$  je počet členů řady ročních průtoků. Výsledná pravděpodobnost označuje jednotlivé míry roční vodnosti. Interval 0-10 % určuje mimořádně vodný rok, 11-40 % vodný rok, 41-60 % průměrně vodný rok, 61-90 % málo vodný rok a 91-100 % mimořádně málo vodný rok.

### **Metodika hodnocení odběrů vody pro technické zasněžování**

Hodnocení odběrů vody za hydrologické období 2002-2012 v Krkonoších bylo provedeno pomocí jednotlivých grafických znázornění. V některých zobrazeních se mohla projevit neúplná evidence všech odběrů, především mezi roky 2001-2007, která nebyla povinná.

Pro porovnání odběrů vody v daných střediscích byla vybrána významná lyžařská střediska s pětiletým obdobím odběrů vody pro zasněžování v povodí Labe a Úpy. Pro povodí Jizery bylo období o jeden rok zkráceno vzhledem k neevidovaným datům v předešlých letech.

Pro výpočet povolených a skutečných odběrů byla použita data odběrů vody v jednotlivých lyžařských areálech za období 2008-2011. Povolený měsíční odběr vody je na Povodí Labe evidován v jednotce  $\text{m}^3 \cdot \text{měsíc}^{-1}$  a povolený roční odběr v  $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$  a v některých střediscích je také omezen maximální okamžitý odběr ( $v \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ), ten byl použit

při dopočtu přibližného povoleného odběru na řece Úpě. Byl vypočítán koeficient (podíl povoleného měsíčního odběru a maximálního okamžitého odběru), díky kterému mohla být doplněna aspoň přibližná hranice povoleného odběru v chybějících areálech (v Janských Lázních). Ostatní chybějící data pro povodí Jizery byla doplněna z Prognostické studie o vlivu odběru vody pro technické zasněžování na průtoky hlavních krkonošských toků k roku 2025 (Novický et al., 2009). Z kompletních dat byly vypočítány součty měsíčních, ročních a skutečných odběrů pro jednotlivé roky a jednotlivá povodí. Tyto výsledné hodnoty byly zobrazeny v grafech.

### **Metodika porovnání měsíčních průtoků a odběrů vody pro technické zasněžování**

Porovnání bylo provedeno vypočtenými měsíčními průtoky a měsíčními odběry vody. Měsíční průtoky ( $\text{v m}^3 \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ) byly odvozeny z měsíčních průtoků ( $\text{v m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) jako násobek počtu dní v měsíci v konkrétním roce (únor 2008 – 29 dní, ostatní únory – 28 dní, duben, červen, září a listopad – 30 dní, ostatní měsíce 31 dní) převedený ze sekund na dny. Z měsíčních průtoků ( $\text{v m}^3 \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ) a měsíčních odběrů byl vypočten výsledný podíl zobrazený v grafu v procentech.

## 4 Výsledky

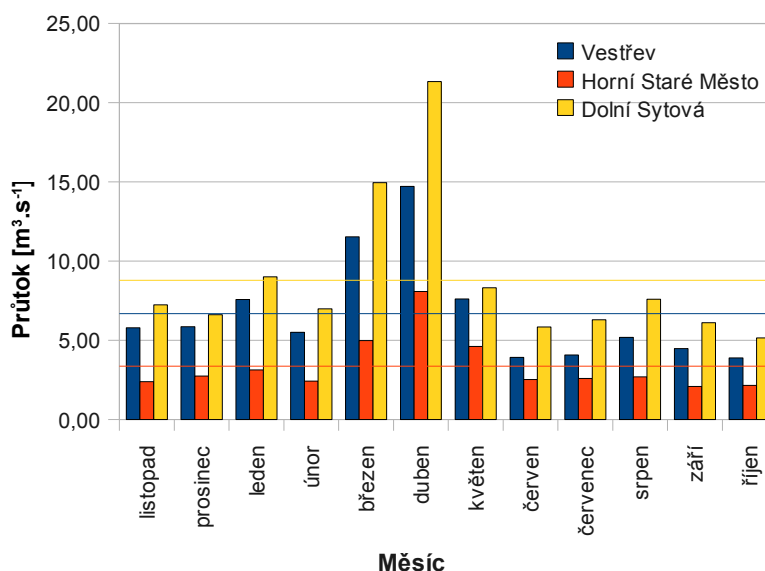
### 4.1 Hodnocení variability měsíčních průtoků

Variabilita měsíčních průtoků byla zhodnocena průměrným měsíčním průtokem v následujícím grafu (obr. 16). Přímka dlouhodobých průměrných průtoků zobrazuje největší průtoky ve stanici Dolní Sytová na řece Jizeře, necelých  $9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Zcela nejnižšího průměrného měsíčního průtoku ( $3,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) dosahuje Úpa v Horním Starém Městě, především díky své nejmenší rozloze povodí.

Z grafu lze vyčíst nejvyšší průtoky v měsíci dubnu ve všech třech sledovaných povodích. Tyto průtoky jsou zaznamenávány díky jarnímu tání sněhu. Druhotné maximální průtoky pozorované v létě, konkrétně v měsíci srpnu, jsou způsobeny letními dešti. Minimální průtoky na všech třech stanicích jsou z dlouhodobého hlediska zaznamenávány v říjnu a také v září.

Na řece Jizeře můžeme pozorovat podružná maxima v srpnu i v lednu. Obdobná maxima jsou pozorovatelná i na Labi, dosahují však nižších absolutních hodnot. Na řece Úpě jsou druhotná maxima méně výrazná. Podružná minima v zimním období jsou pozorovatelná na všech tocích. Na Jizeře se k únorovému minimu přidává ještě snížený průtok v prosinci. U ostatních toků je vidět stagnace, případně růst prosincových průtoků.

**Obr. 16: Průměrné měsíční průtoky za období 2003-2012 ve stanici Labe - Vestřev, Úpa – Horní Staré Město, Jizera – Dolní Sytová**



V tabulce 5 je přehled průměrných, minimálních a maximálních měsíčních průtoků za sledované období od listopadu 2003 do března 2012. V povodí horního Labe byla zaznamenána nejmenší vodnost v říjnu 2009 a největší vodnost v dubnu 2006. Pro povodí

horní Úpy byla nejmenší vodnost v únoru 2006 a největší vodnost v dubnu 2005. Velmi vyrovnané minimální vodnosti má za dané období také horní tok řeky Jizery s vyrovnanými minimy v říjnu 2008 a únoru 2009. Maximální vodnosti bylo dosaženo taktéž v dubnu 2006. K měsícům s největší vodností na všech třech tocích patří především duben a březen. Nejmenší vodnost zaznamenáváme v měsíci říjnu.

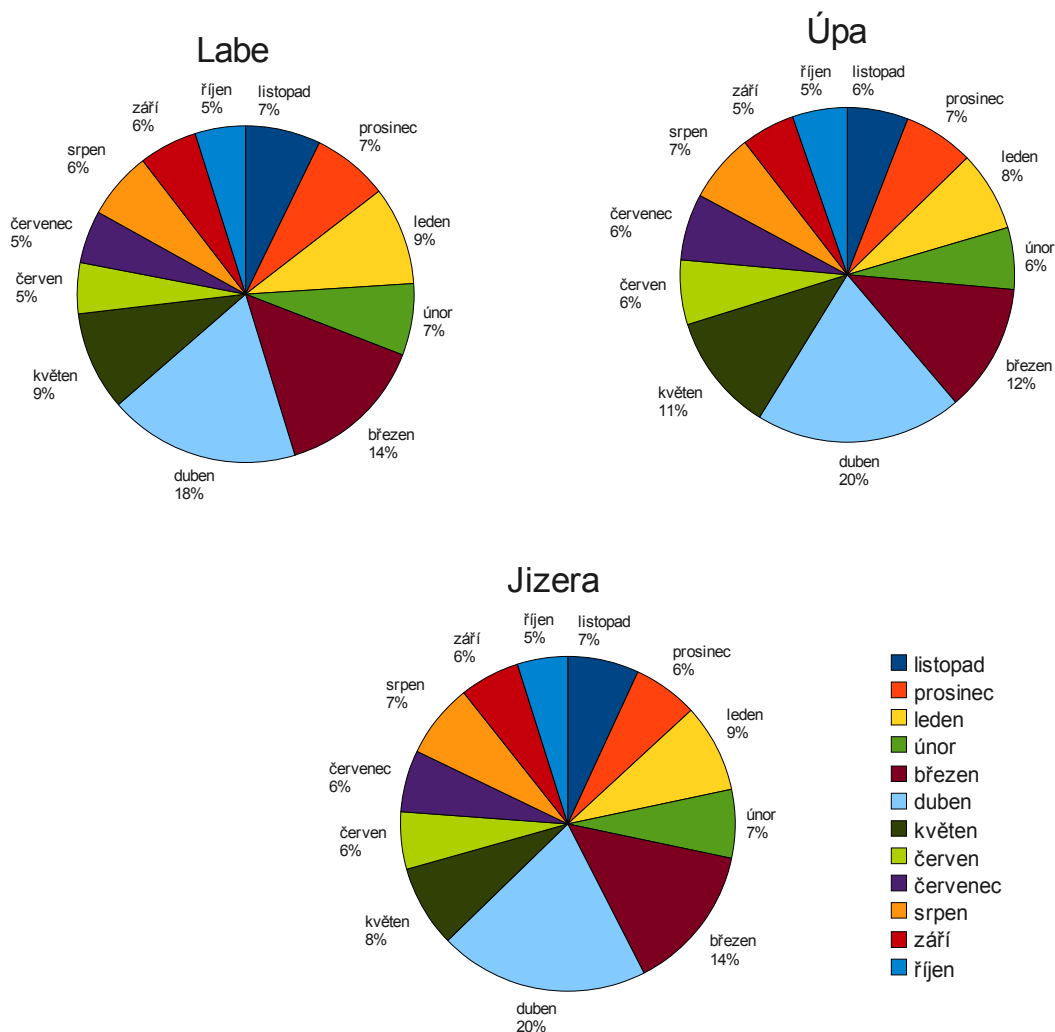
**Tab. 5: Statistické charakteristiky měsíčních a ročních průtoků v jednotlivých stanicích.** *Průměr je aritmetický průměr měsíčních průtoků z konkrétního roku, MIN je minimální hodnota měsíčního průtoků v konkrétním roce, MAX je maximální hodnota měsíčního průtoků v konkrétním roce.*

	Labe, Vestřev [m <sup>3</sup> /s]			Úpa, H. S. Město [m <sup>3</sup> /s]			Jizera, D. Sytová [m <sup>3</sup> /s]		
	Průměr	MIN	MAX	Průměr	MIN	MAX	Průměr	MIN	MAX
2004	5,75	2,10	12,34	2,96	1,12	7,42	6,44	3,01	14,28
2005	6,70	1,91	20,94	3,65	1,22	12,00	10,95	2,96	35,09
2006	6,98	1,87	25,76	3,46	0,87	11,22	10,01	2,32	38,49
2007	7,82	2,62	18,15	3,97	1,91	6,42	8,56	3,16	17,78
2008	6,95	1,95	12,95	3,51	1,20	7,98	7,43	2,28	15,91
2009	6,23	1,70	17,37	3,66	1,25	11,91	8,83	2,28	30,12
2010	7,52	2,52	13,52	3,55	1,05	6,42	9,22	2,91	15,99
2011	5,27	2,46	10,71	3,15	1,69	5,51	7,75	2,84	15,06

Rozložení odtoku v průběhu roku se posuzuje podle měsíčních průtoků. Horské toky mají své maximální průtoky v dubnu nebo březnu, kdy je zdrojem vodnosti tání sněhu. Minimální průtoky se na vybraných tocích vyskytují v říjnu, případně v září. Podle obrázku 17 odteče jedna pětina z celkového odtoku v dubnu. To je především voda zadržaná ve sněhové pokrývce (přírodní i umělé). Okolo 12-14 % pak odteče v měsíci březnu, dále následuje květen a leden u všech tří vybraných toků. Nejnížší odtoky i podle kruhových grafů se vyskytují v měsíci říjnu.



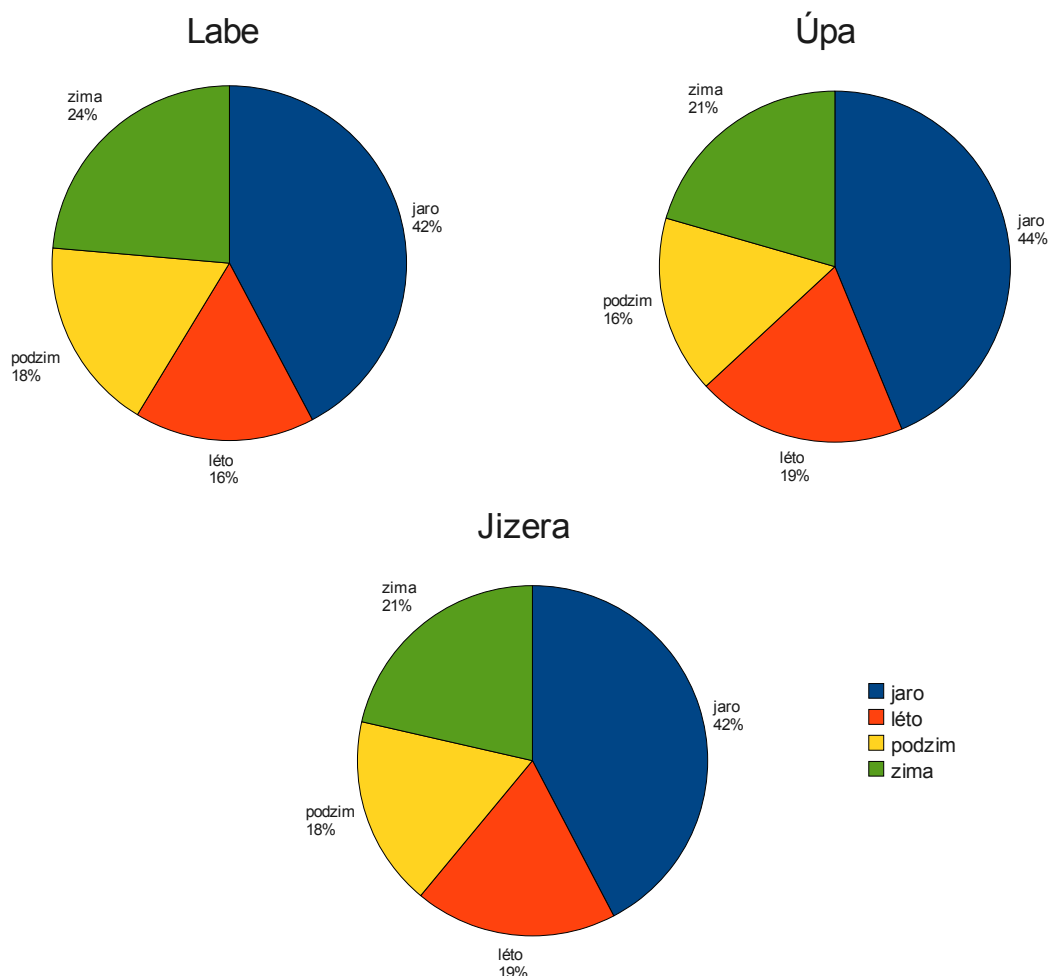
**Obr. 17: Podíl měsíčních odtoků v průběhu roku na jednotlivých tocích za hydrologické období 2003-2012**



Roční chod odtoku je možné rozložit také podle ročních období (obr. 18). Do zimního období je započítán prosinec, leden, únor, do jarního březen, duben, květen, do letního červen, červenec, srpen a do podzimního září, říjen a listopad (Netopil, 1984). Velké vodnosti dosahují vybrané toky vzhledem k tání sněhu v jarním období (42-44 %), dále je pak vodnost relativně vyrovnaná v zimě a létě. Nejnižší podíl na ročním odtoku lze pozorovat na podzim (16-18 %), ve kterém jsou měsíce září a říjen s minimálními průtoky. Podle definice (Netopil, 1984) můžeme určit podíl ročních období na celkovém odtoku jako mírně nevyrovnaný.

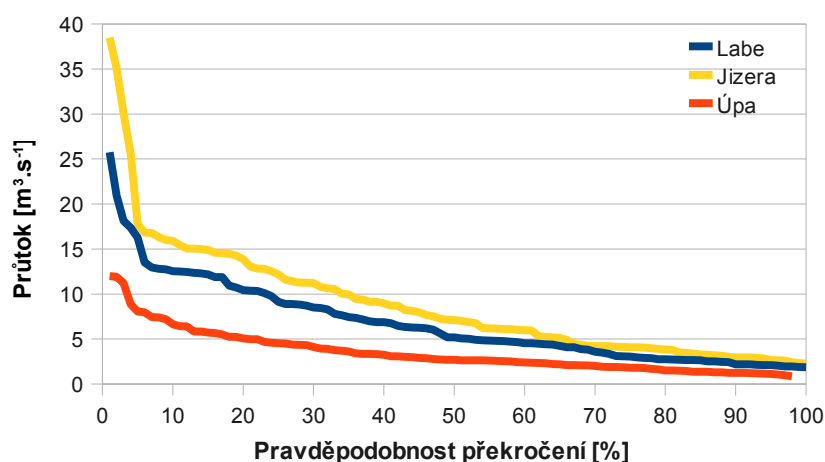
Vzhledem k odběrům vody mohlo dojít ke snížení podílu v podzimním a zimním období, kdy se odebírá voda z toků pro technické zasněžování. Na druhou stranu tato voda se do oběhu musela vrátit v pozdějších měsících, tedy při jarním tání.

**Obr. 18: Podíl ročních období na ročním odtoku jednotlivých toků za hydrologické období 2003-2012**



Mezi další charakteristiky odtoku lze zařadit hodnocení variability odtoku pomocí čar překročení (obr. 19). V tomto případě byla netradičně použita na ose x pravděpodobnost překročení měsíčních průtoků zobrazená v procentech. Čáry překročení graficky znázorňují vodnost všech tří toků a extremitu měsíčních průměrných průtoků. Ta je zaznamenána jako nejvýraznější na řece Jizeře. Naopak na řece Úpě nejsou extrémní situace časté ani výrazné. Z těchto křivek vidíme, že pravděpodobnost překročení měsíčních průtoků do 10 % rychle klesá, dále je pak pokles již pozvolnější, ovšem relativně vysoká pravděpodobnost překročení je i za hranicí 50 %.

**Obr. 19: Čáry pravděpodobnosti překročení měsíčních průměrných průtoků**



Jednou z používaných číselných charakteristik je koeficient  $K_r$ , který udává rozkolísanost toků. Lze podle něho srovnat různé toky jedním číslem. V následující tabulce 6 můžeme vidět rozdílnou vodnost na jednotlivých tocích.

**Tab. 6: Koeficient  $K_r$  pro jednotlivé toky za období 2004-2011**

	<b><math>K_r</math></b>		
	<b>Labe</b>	<b>Úpa</b>	<b>Jizera</b>
<b>2004</b>	6,91	7,29	6,42
<b>2005</b>	7,06	6,61	6,54
<b>2006</b>	8,02	8,03	8,17
<b>2007</b>	5,98	5,14	5,94
<b>2008</b>	7,08	6,03	7,24
<b>2009</b>	5,85	6,36	6,54
<b>2010</b>	5,17	6,34	5,49
<b>2011</b>	4,69	4,09	5,25

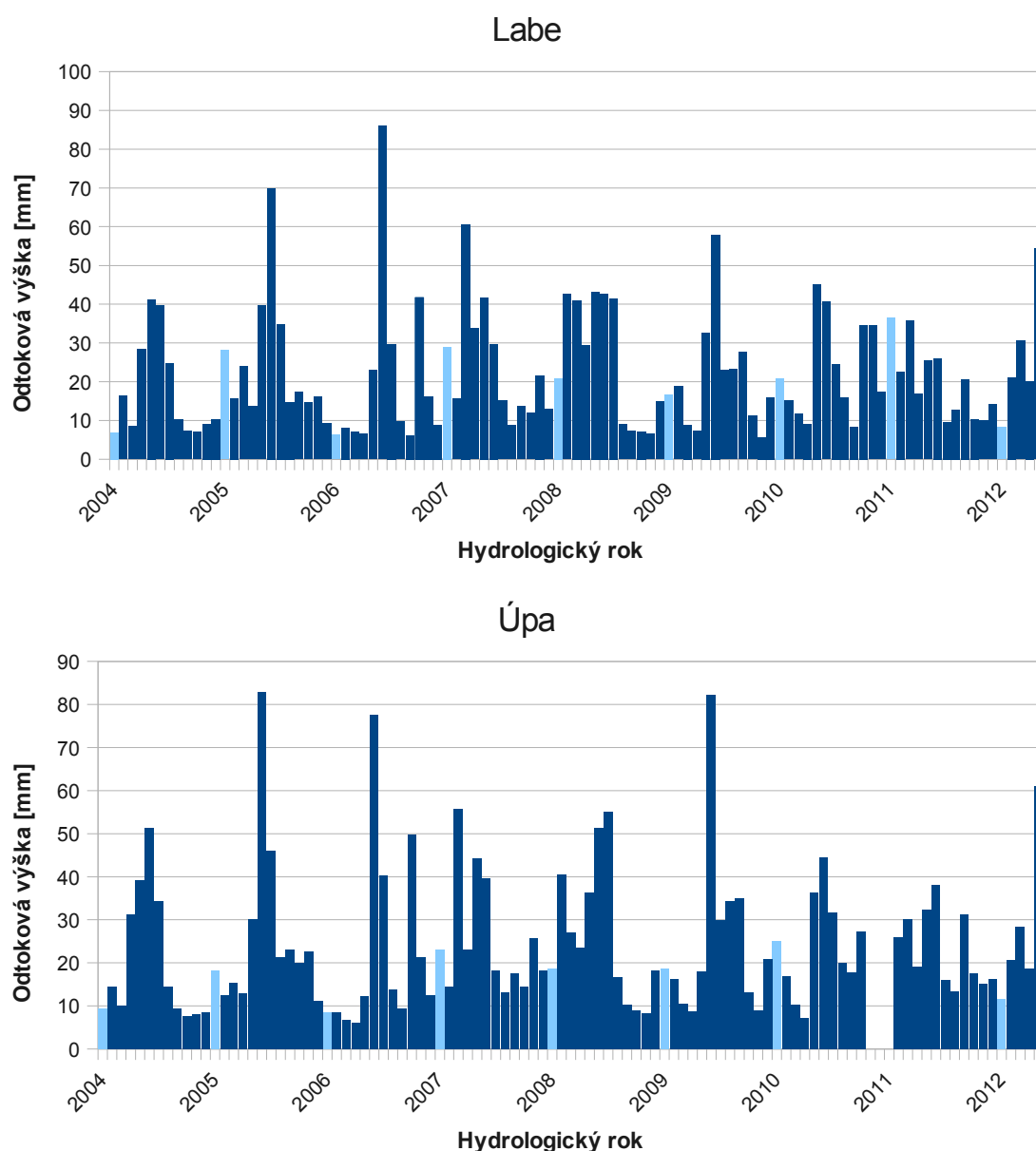
Roční vodnosti řek se mění v závislosti na velikosti podílu hlavního zdroje napájení. Na našem území je to závislost především na množství srážek a jejich časovém rozložení, na množství sněhových srážek a jejich odtoku při jarním tání (Netopil, 1984). Hodnocení odtokového režimu z pohledu měsíčních průtoků je znázorněno na obr. 20. Nejvyrovnanější odtokovou výšku za sledované období vidíme na grafu řeky Jizery, zde se nachází nejméně výrazných vysokých extrémů.

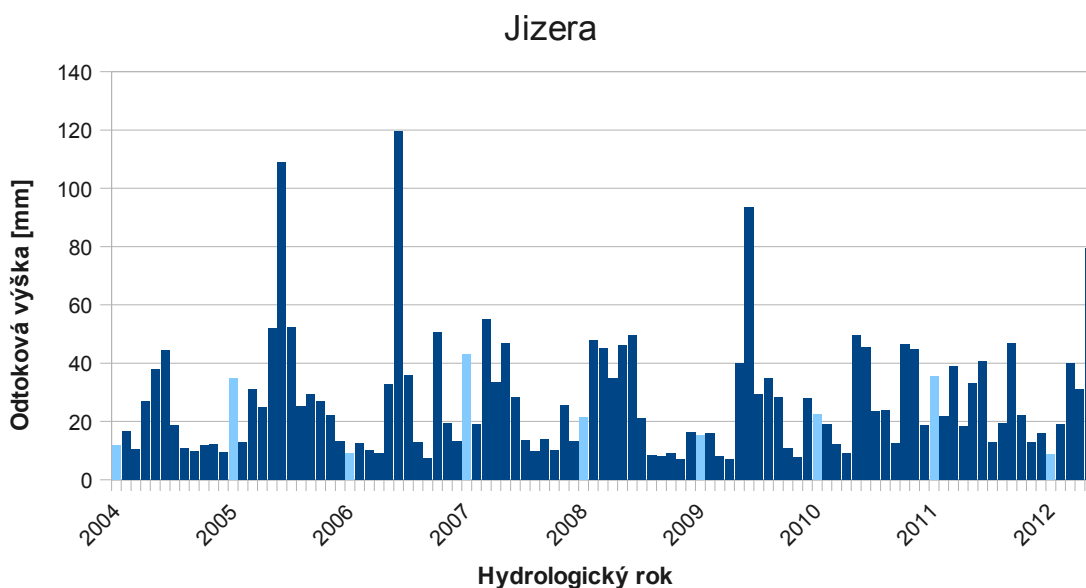
Z grafů odtokových výšek lze pozorovat extrémní hodnoty průtoků. Maximální hodnoty odtokové výšky se ve většině případů vyskytují v dubnu. Výjimkou byl například rok 2007, kdy maximální odtoková výška byla na Úpě a Jizeře již v lednu, na Labi v únoru.

Minimální odtokové výšky lze pozorovat ve dvou obdobích (červenec – srpen, prosinec – únor). Snížená odtoková výška v letním období je způsobena vyšším odparem vody z důvodu vyšších teplot vzduchu, v zimním období je snížený odtok způsoben zadržením vody ve sněhové pokrývce. Z grafů můžeme dobře vyčíst období s nižší odtokovou výškou od června 2008 do února 2009 na všech třech stanicích. Obdobný případ lze také vidět od srpna 2009 do února 2010, kdy kromě listopadu a prosince jsou odtokové výšky taktéž nižší.

Z dlouhodobého hlediska je nejvyšší odtoková výška na řece Jizeře. Hodnota dlouhodobé průměrné odtokové výšky je 861 mm. Na druhé pozici je řeka Úpa s průměrnou hodnotou 741 mm. Ještě o 35 mm méně má dlouhodobá odtoková výška na Labi.

**Obr. 20: Znázornění odtokové výšky pro jednotlivé stanice za hydrologické období 2004-2012 (světle modrá barva zvýrazňuje začátek hydrologického roku)**



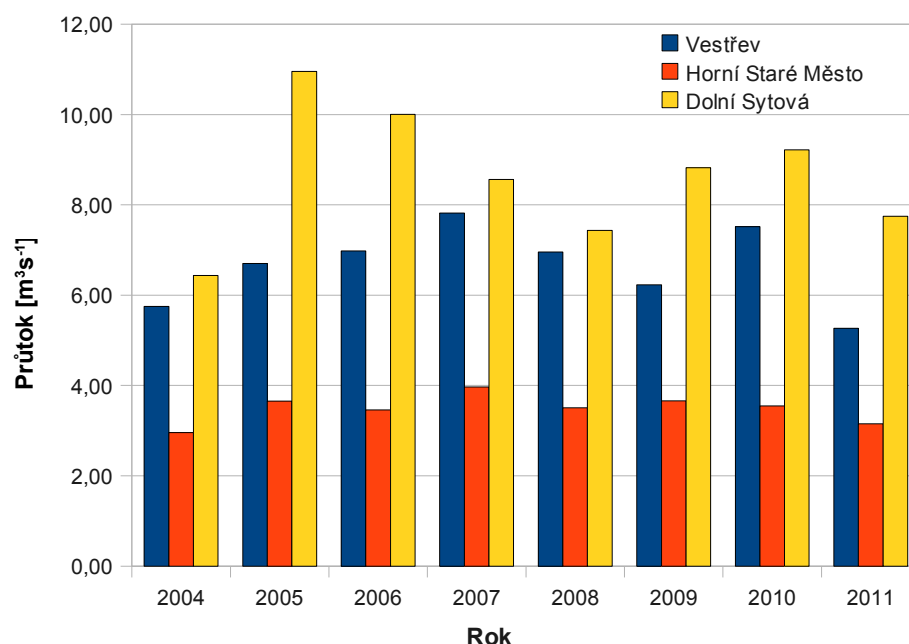


### **Průměrné roční průtoky**

Na obrázku 21 je zobrazen průměrný roční průtok pro tři závěrové profily zkoumaného území. Opět vidíme největší průtoky u horního toku řeky Jizery, dále pak u horního toku Labe a nejnižší průtoky má horní tok řeky Úpy. Průtok na řece Úpě je značně vyrovnaný po celé sledované období. Největší rozkolísanost v průběhu let vykazuje Jizera na svém horním toku.

Nejvyrovnanější bilanci ročních průtoků má řeka Úpa. Nikterak výrazná maxima jsou zaznamenány v letech 2007 a 2005. Nejnižší minimální průtoky byly zaznamenány v roce 2004 a 2011. Ve stejných letech byly také zaznamenány minimální průměrné roční průtoky ve stanici Vestřev na Labi. Maximální průtok na Labi bylo taktéž v roce 2007, druhé maximum v roce 2010. Odlišný dlouhodobý vývoj je zachycen ve stanici Dolní Sytová na řece Jizeře. V roce 2005 bylo dosaženo maxima, které postupně klesají až do roku 2008. Druhé maximum pak bylo stejné jako na Labi, tedy v roce 2010.

**Obr. 21: Průměrný roční průtok v závěrových profilech za období 2004-2011**



Míru vodnosti řek v daných rocích může určit i slovním vyjádřením. Rozdělení do skupin vodnosti je shrnuto v tab. 7.

**Tab. 7: Klasifikace vodnosti roků podle p% (Netopil, 1984). P% je pravděpodobnost překročení daného průměrného ročního průtoku podle Čegodajeva**

p%	míra vodnosti řek	označení
0-10	mimořádně vodný rok	MV
11-40	vodný rok	V
41-60	průměrně vodný rok	P
61-90	málo vodný rok	S
91-100	mimořádně málo vodný rok	MS

Míra vodnosti pro roky 2003 a 2012 je počítána pouze ze dvou (listopad a prosinec 2003), respektive tří (leden, únor, březen 2012) měsíců, tudíž výsledné mimořádně vodné roky a mimořádně málo vodné roky (tab. 8, 9, 10) nejsou zcela objektivní. Proto nebyly uvedené roky zařazeny do hodnocení. Ostatní výsledky nedosahují hraničních hodnot. Vyskytují se více vodné a málo vodné roky než průměrně vodné roky. Dále také vidíme, že rok 2004 a 2011 byl zařazen do stejné kategorie málo vodný rok na všech třech povodích. Četnost výskytu jednotlivých měr vodnosti za všechna povodí v období 2004 až 2011 je zobrazena v tabulce 11. Nejvyšší četnosti dosahují vodné a málo vodné roky.

**Tab. 8: Míra vodnosti toku Labe v profilu Vestřev v letech 2004-2011**

<b>Vestřev</b>			
<b>rok</b>	<b>Qr</b>	<b>p%</b>	<b>vodnost</b>
2004	5,75	74,04	S
2005	6,70	54,81	P
2006	6,98	35,58	V
2007	7,82	16,35	V
2008	6,95	45,19	P
2009	6,23	64,42	S
2010	7,52	25,96	V
2011	5,27	83,65	S

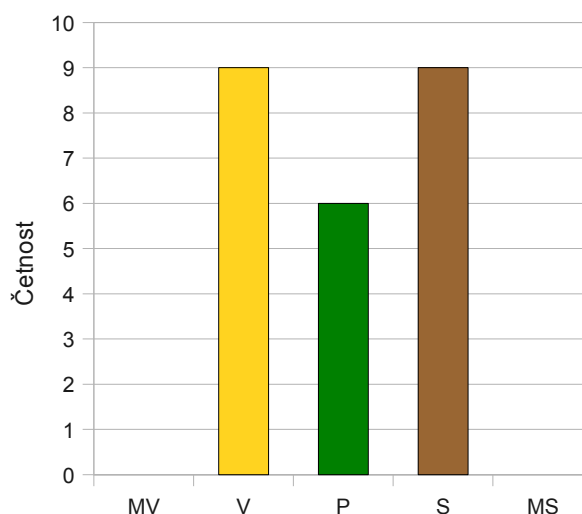
**Tab. 9: Míra vodnosti toku Úpa v profilu Horní Staré Město v letech 2004-2011**

<b>Horní Staré Město</b>			
<b>rok</b>	<b>Qr</b>	<b>p%</b>	<b>vodnost</b>
2004	2,96	82,69	S
2005	3,65	34,62	V
2006	3,46	63,46	S
2007	3,97	15,38	V
2008	3,51	53,85	P
2009	3,66	25,00	V
2010	3,55	44,23	P
2011	3,15	73,08	S

**Tab. 10: Míra vodnosti toku Jizera v profilu Dolní Sytová v letech 2004-2011**

<b>Dolní Sytová</b>			
<b>rok</b>	<b>Qr</b>	<b>p%</b>	<b>vodnost</b>
2004	6,44	83,65	S
2005	10,95	16,35	V
2006	10,01	25,96	V
2007	8,56	54,81	P
2008	7,43	74,04	S
2009	8,83	45,19	P
2010	9,22	35,58	V
2011	7,75	64,42	S

**Tab. 11: Celková četnost výskytu ročních průtoků podle míry jejich vodnosti za daná povodí v období 2004-2011**



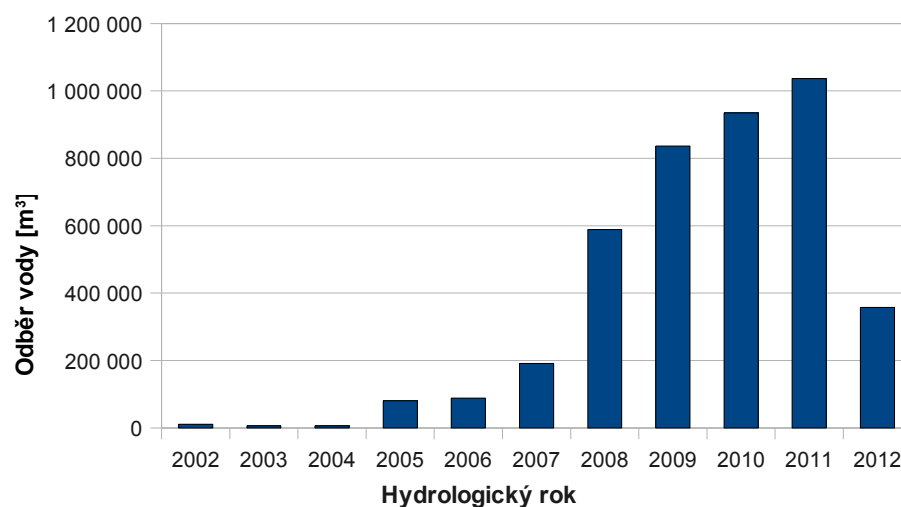
## 4.2 Hodnocení odběrů vody pro technické zasněžování

### Hodnocení odběrů vody v Krkonoších za období hydrologických let 2002-2012

Odběr vody pro účely technického zasněžování v Krkonoších má stále rostoucí tendenci. Z obrázku 22 můžeme vidět postupný a také velmi intenzivní nárůst odběrů vody z horských krkonošských toků. Nárůst do roku 2008 může být způsoben nedokonalou evidencí, která před rokem 2007 nemusela být kompletní. Od roku 2007 byla díky zákonným úpravám zpřesněna a rozšířena evidence odběratelů, která je na grafu jednoznačně pozorovatelná. Za období 2002-2011 došlo ke stonásobnému nárůstu odběru vody pro zasněžování, který ale díky evidenci odběrů dat ve skutečnosti nemusel být tak značný. V roce 2008 byla překonána hranice 500 000 m<sup>3</sup>, o tři roky později, tedy v roce 2011, již hranice odběru vody překročila hranici 1 milionu m<sup>3</sup> vody na území Krkonoš. I při krátké časové řadě od roku 2008 do roku 2012 můžeme pozorovat značný nárůst odběrů vody pro technické zasněžování. Nízký odběr vody pro rok 2012 je způsoben chybějícími daty za odběr od ledna 2012.

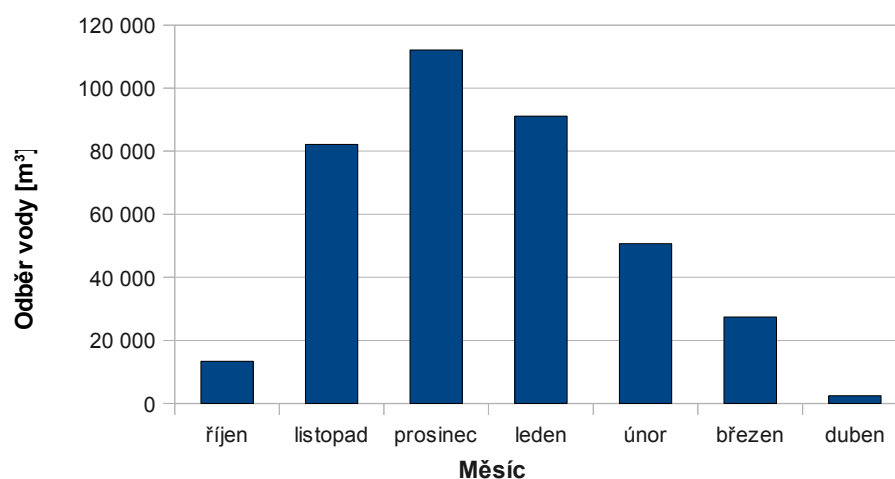


**Obr. 22: Odběr vody z horních toků třech povodí za hydrologické roky 2002-2012**



Rozložení odběru vody v období hydrologických let 2002-2012 podle měsíců odpovídá zaběhnutým zasněžovacím trendům. Nejvíce vody pro zasněžování bylo odebráno z horních toků v měsíci prosinci (obr. 23). Za sledované jedenáctileté období je to více jak 112 000 m³ vody. Druhým měsícem s nejvyšším odběrem vody je leden s necelými 92 000 m³ vody, více jak 80 000 m³ vody se ještě odebralo z měsíce listopadu. Další hodnoty již nedosahují osmdesátitisícové hranice. V klimaticky příhodných letech pro zasněžování byla zaznamenána výroba sněhu již v říjnu (Herlíkovice - 2007, Dolní Dvůr - 2007, Janské Lázně – 2011) a naopak také ještě v dubnu (Mladé Buky – 2006).

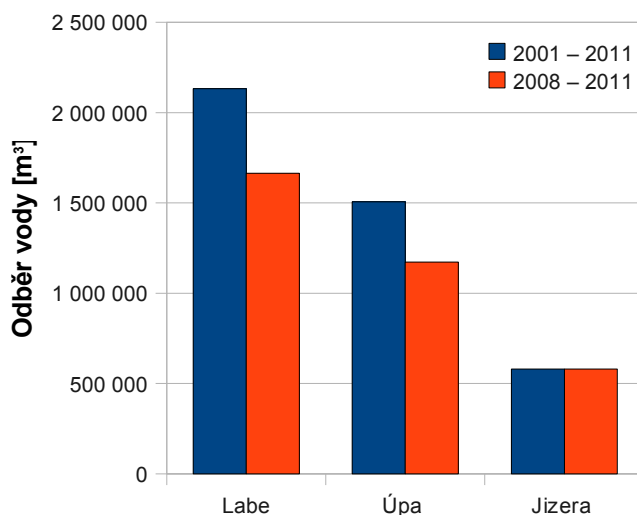
**Obr. 23: Odběry vody pro technické zasněžování podle měsíců za období 2001-2011**



Odběr vody lze také zhodnotit podle místa odběru. Přestože horní povodí Labe po závěrový profil Vestřev má druhou největší rozlohu mezi porovnávanými povodími, odběr vody z této oblasti od roku 2001 je jednoznačně největší (obr. 24). Výsledné číslo překračuje

hranici 2 milionu m<sup>3</sup> vody. Druhé místo zaujímá horní povodí Úpy po závěrový profil Horní Staré Město. Necelých 580 000 m<sup>3</sup> vody bylo za dané období odebráno z horního povodí Jizery.

**Obr. 24: Porovnání odběru vody z horních toků v jednotlivých povodích za období 2001-2011 a 2008-2011**



Do grafu byl sestrojen odběr vody pro technické zasněžování za období 2008-2011 z horních toků v daných povodích. Při porovnání s delším obdobím 2001-2011 můžeme pozorovat značný nárůst odebraného množství vody v posledních letech. Červené sloupce zobrazují čtyřleté období, zatímco modré jedenáctileté období. Při rovnoměrném růstu by tedy měly červené sloupce dosahovat maximálně polovičních hodnot modrých sloupců. Toto zobrazení tedy znázorňuje nerovnoměrný růst odběrů vody v posledních letech. Srovnání odběrů vody z povodí horní Jizery dosahuje stejných hodnot pro obě období, jelikož v období 2001-2007 nejsou evidovány žádné odběry vody pro zasněžování.

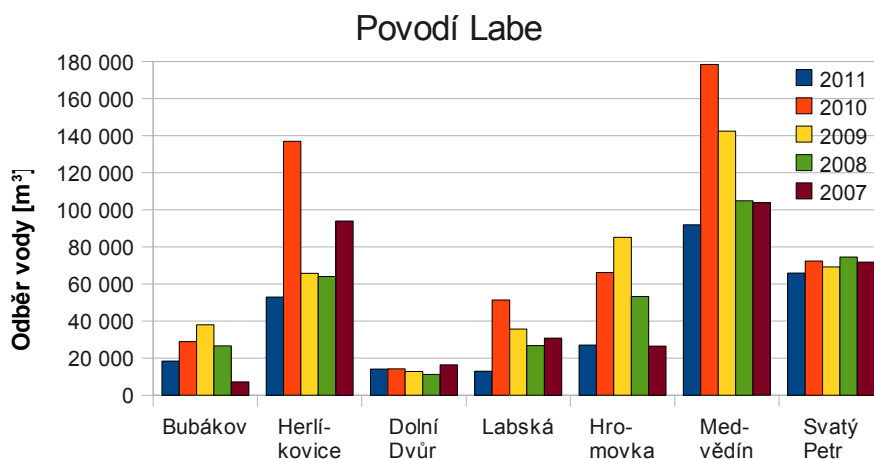
### **Hodnocení odběru vody pro technické zasněžování v jednotlivých povodích**

Odběry vody pro technické zasněžování se značně liší od velikosti skiareálu, přes jeho polohu, odběrové místo až k množství odebrané vody. V následujících grafech (obr. 25, 26, 27) můžeme vidět porovnané množství odebrané vody ve vybraných areálech.

Z povodí Labe dochází k nejvyšším odběrům v porovnání s ostatními povodími. Nejvyšší odběry dosahující 180 000 m<sup>3</sup> vody byly zaznamenány v roce 2010 v lyžařském středisku Medvědin. Rok 2010 byl jedním z roků, společně s rokem 2009, kdy bylo technické zasněžování využito ve velké míře. Souvislost můžeme nalézt v tabulce 12, která znázorňuje procentuální úhrn srážek v procentuálním normálu za období 1961 – 1990. Zde vidíme, že rok 2010 byl pod dlouhodobým srážkovým průměrem, tudíž mohlo dojít k navýšení odběrů pro zasněžování. Obdobné je to s rokem 2009, kdy procentuální úhrn srážek taktéž

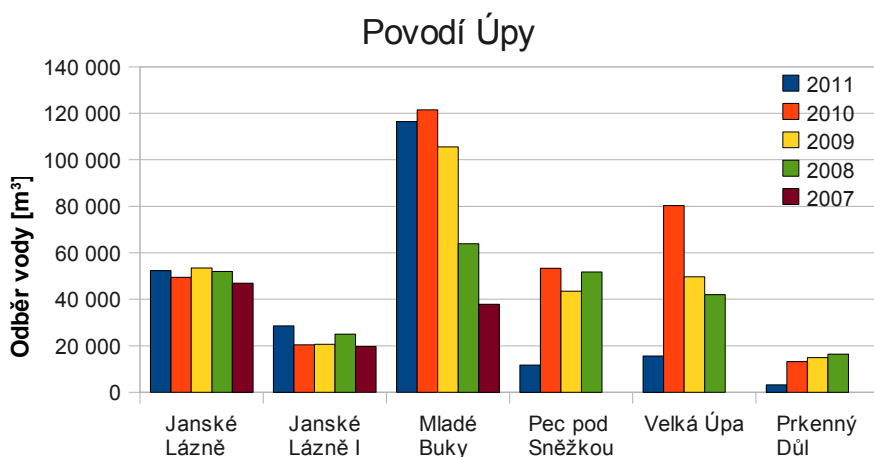
nedosahuje 100 %. K nejnižším odběrům dochází ve střediscích, které mají méně výhodnou polohu vzhledem k centrálním Krkonošům a mají menší rozlohu areálů.

**Obr. 25: Odběr vody ve vybraných zimních střediscích v povodí Labe za období 2007-2011**



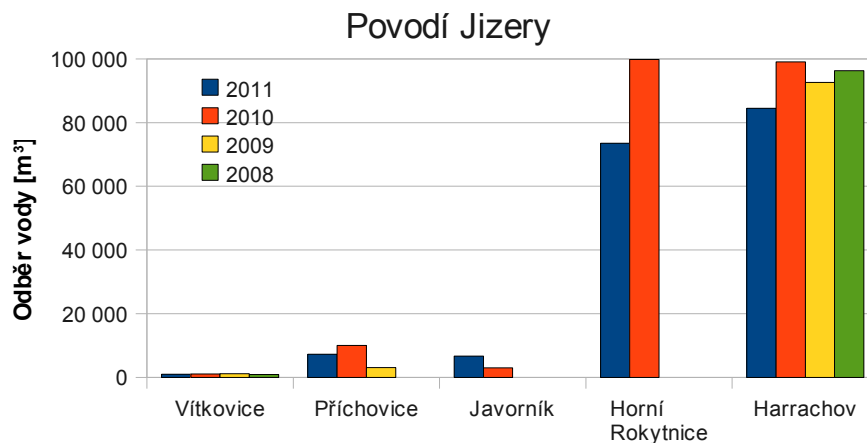
V povodí Úpy můžeme pozorovat relativně vyrovnané odběry za dané období v jednotlivých areálech. Největším odběratelem je lyžařský areál v Mladých Bucích, jehož celkový odběr v roce 2010 přesáhl hranici 120 000 m<sup>3</sup> vody (obr. 26). Odběry v jednotlivých areálech jsou omezeny maximální hranicí, např. v Janských Lázních mají omezené odběry do 50 000, resp. 30 000 m<sup>3</sup> vody. Tato oblast se od povodí Labe liší také pozdějším rozvojem zasněžování. Vidíme, že např. v roce 2007 v Prkenném Dole není záznam o odběru vody.

**Obr. 26: Odběr vody ve vybraných zimních střediscích v povodí Úpy za období 2007-2011**



V povodí Jizery se nacházejí dvě střediska, která odeberou okolo 100 000 m<sup>3</sup> vody za rok (obr. 27). Jsou to střediska v Horní Rokytnici a Harrachově. Ostatní střediska v porovnání s těmito dvěma mají minimální odběry. I zde má délka zasněžování mnohem kratší historii než ve Špindlerově Mlýně nebo Herlíkovicích.

**Obr. 27: Odběr vody ve vybraných zimních střediscích v povodí Jizery za období 2008-2011**



**Tab. 12: Procentuální úhrn srážek v Královéhradeckém a Libereckém kraji ve srovnání s dlouhodobým normálem za období 1961-1990 (zdroj: ČHMÚ, 2008, upraveno)**

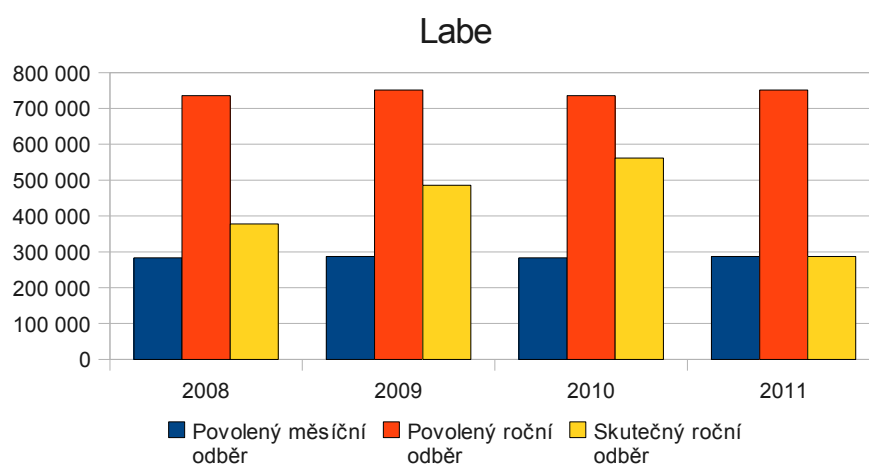
Kraj	Měsíc							Průměr
	<b>2007</b>							
	leden	únor	březen	duben	říjen	listopad	prosinec	
Královéhradecký	188	129	91	10	55	138	73	101,86
Liberecký	193	154	89	4	47	180	75	
	<b>2008</b>							
Královéhradecký	86	101	137	102	120	94	44	105,64
Liberecký	132	95	135	107	144	105	77	
	<b>2009</b>							
Královéhradecký	56	117	154	15	151	58	99	95,79
Liberecký	60	156	165	8	184	49	69	
	<b>2010</b>							
Královéhradecký	97	54	95	106	20	126	97	85,57
Liberecký	85	55	127	46	21	139	130	
	<b>2011</b>							
Královéhradecký	88	22	54	46	93	1	125	64,86
Liberecký	106	28	56	57	99	2	131	

### Porovnání povolených ročních a měsíčních odběrů se skutečnými odběry vody

Zhodnocení povolených odběrů může poukázat na potenciální zásoby vody, které je možné z jednotlivých toků odebrat. V tomto případě také poukázalo na to, že je možné odebírat i více vody, než je povolené maximální množství.

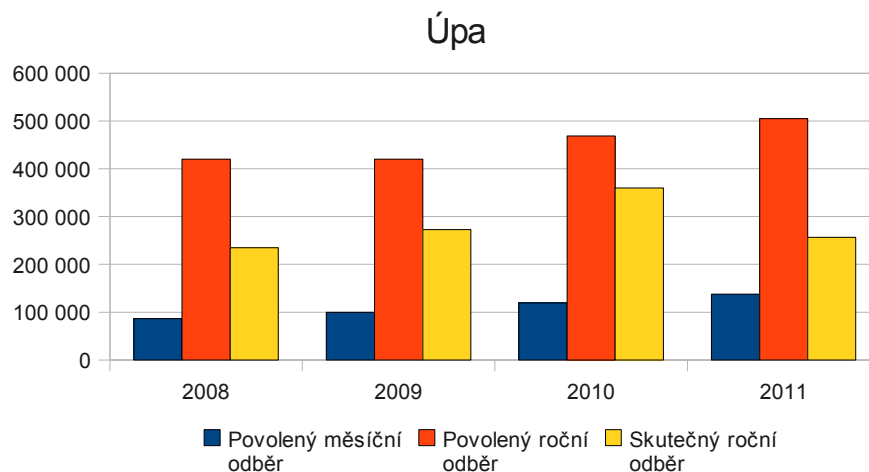
Z povodí Labe je celkový roční maximální odběr již několik let stabilní (obr. 28). Hranice povolených ročních odběrů přesahuje hodnotu 730 000 m<sup>3</sup> vody. Měsíční průtoky jsou taktéž již minimálně 4 roky na stejné úrovni. Rozdílné jsou však skutečné odběry, zatímco od roku 2008 byl zaznamenán růst přes hranici 300 000 m<sup>3</sup> vody, v roce 2010 téměř dvojnásobný, v roce 2011 se odběry vody k této hranici pouze přiblížil.

**Obr. 28: Povolené a skutečné odběry vody z povodí Labe v letech 2008-2011**



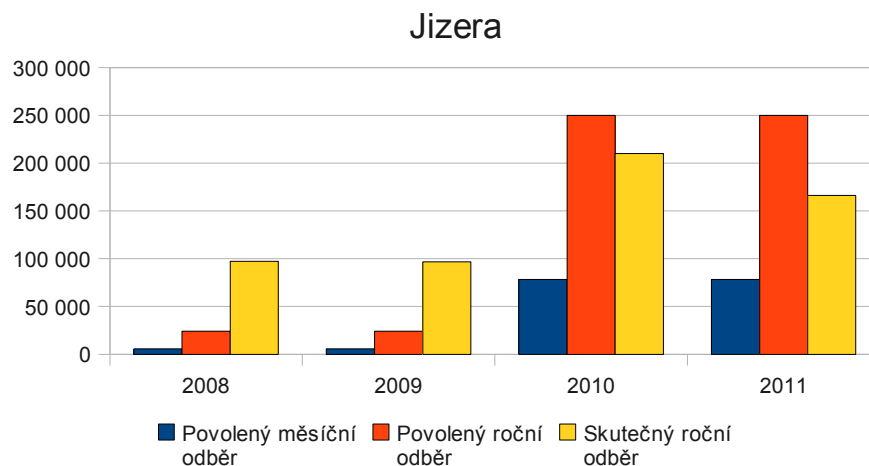
Obdobné rozložení povolených a skutečných odběrů na Labi můžeme zaznamenat také v povodí řeky Úpy. Hranice maximálních ročních odběrů pozvolna roste, v roce 2011 překonala hranici 500 000 m<sup>3</sup> vody. Vývoj skutečných odběrů v povodí Úpy odpovídá stejnému chodu jako v povodí Labe, rostoucí trend do roku 2010, v roce 2011 značný pokles (obr. 29). Roční povolené odběry jsou čtyřnásobné těm měsíčním, je tedy možné zasněžovat téměř celé čtyři měsíce v sezoně (odběry jsou však ještě omezeny množstvím odebrané vody za sekundu).

**Obr. 29: Povolené a skutečné odběry vody z povodí Úpy v letech 2008-2011**



Již na první pohled odlišný graf vykazuje obrázek 30. Skutečné odběry vody v povodí Jizery převyšují mnohonásobně povolené maximální množství. Zatímco v roce 2008 a 2009 byly roční povolené odběry taktéž čtyřnásobné než měsíční, v letech 2010 a 2011 již tento násobek byl pouze 1,5. K vyšším skutečným odběrům dochází zejména na straně lyžařského areálu v Harrachově, který měl v roce 2008 a 2009 měsíční limit 6 000 m<sup>3</sup> vody, ovšem skutečné měsíční množství se pohybovalo od 10 000 do 26 000 m<sup>3</sup> vody. V následujících letech byla hranice měsíčního odběru nastavena na 30 000 m<sup>3</sup> vody, kterou již nyní lyžařský areál splňuje. Dalšími odběrateli přes stanovenou hranici je areál v Rokytnici nad Jizerou i ve Vítkovcích.

**Obr. 30: Povolené a skutečné odběry vody z povodí Jizery v letech 2008-2011**



### **4.3 Porovnání měsíčních a ročních průtoků s odběry vody pro technické zasněžování**

#### **Porovnání minimálních měsíčních průtoků s měsíčními odběry vody**

Pro porovnání průtoků s odběry vody byly použity různé způsoby hodnocení. První způsob porovnává minimální lednové a únorové průtoky s povoleným maximálním měsíčním odběrem (tab. 13). Nejvyšší podíl odběru vody z minimálních průtoků je zaznamenán ve stanici Vestřev na horním toku Labe, což odpovídá umístění největších odběratelů (Herlíkovice, Špindlerův Mlýn – Medvědí, Svatý Petr, Hromovka) v tomto povodí. Nižší podíl odběru vody z minimálních měsíčních průtoků lze pozorovat ve stanici Horní Staré Město řece Úpě. Výsledné hodnoty jsou ovlivněny povolenými odběry, které jsou ve srovnání s odběry z povodí horního Labe sníženy o více jak polovinu. Pro řeku Jizeru se zdá být podíl odběrů z minimálních průtoků zanedbatelný, ale v evidenci maximálních možných odběrů je číselná hodnota odběru v areálu v Harrachově pouze 1500 m<sup>3</sup> vody za měsíc pro rok 2008 a 2009, kdežto v letech 2010 a 2011 byla tato hodnota zvýšena na 30 000 m<sup>3</sup> vody. Což už je ve výsledku částečně znát a podíl odběru vody z průtoků se v roce 2010 dostal přes 1 %. Druhým důvodem může být neuvedení maximálního odběru vody pro lyžařský areál Obří Sud v Javorníku.

Při porovnání podílu měsíčních průtoků v lednu a únoru je znát nižší únorový průtok. Ten se projevuje na všech třech povodích a odpovídá znázornění na obrázku 16, kde je měsíc únor měsícem s nejnižším průtokem v zimním období.

Z tabulky jsou také dobře vidět velmi nízké hodnoty minimálních průtoků v letech 2009 a 2010 na všech třech tocích, které byly způsobeny nízkými teplotami vzduchu a nízkými úhrny srážek.

**Tab. 13: Porovnání minimálních lednových a únorových průtoků s měsíčním odběrem vody za období 2008-2012**

Rok	Povolený odběr [m <sup>3</sup> .měsíc <sup>-1</sup> ]	Minimální průtok [m <sup>3</sup> .měsíc <sup>-1</sup> ] leden	Minimální průtok [m <sup>3</sup> .měsíc <sup>-1</sup> ] únor	Podíl odběru z minimálního lednového průtoku [%]	Podíl odběru z minimálního únorového průtoku [%]
<b>Labe</b>					
2008	282 954	32 904 144	22 146 998	0,86	1,28
2009	286 829	7 127 222	5 307 725	4,02	5,40
2010	282 954	9 318 154	6 599 578	3,04	4,29
2011	286 829	28 693 699	12 243 571	1,00	2,34
<b>Úpa</b>					
2008	86 500	10 502 006	8 504 006	0,82	1,02
2009	99 900	4 084 560	3 024 000	2,45	3,30
2010	119 400	4 014 922	2 542 579	2,97	4,70
2011	137 400	11 688 538	6 715 699	1,18	2,05
<b>Jizera</b>					
2008	5 800	38 941 258	28 223 078	0,01	0,02
2009	5 800	7 014 730	5 513 357	0,08	0,11
2010	78 300	10 603 786	7 044 710	0,74	1,11
2011	78 300	33 611 242	14 377 306	0,23	0,54

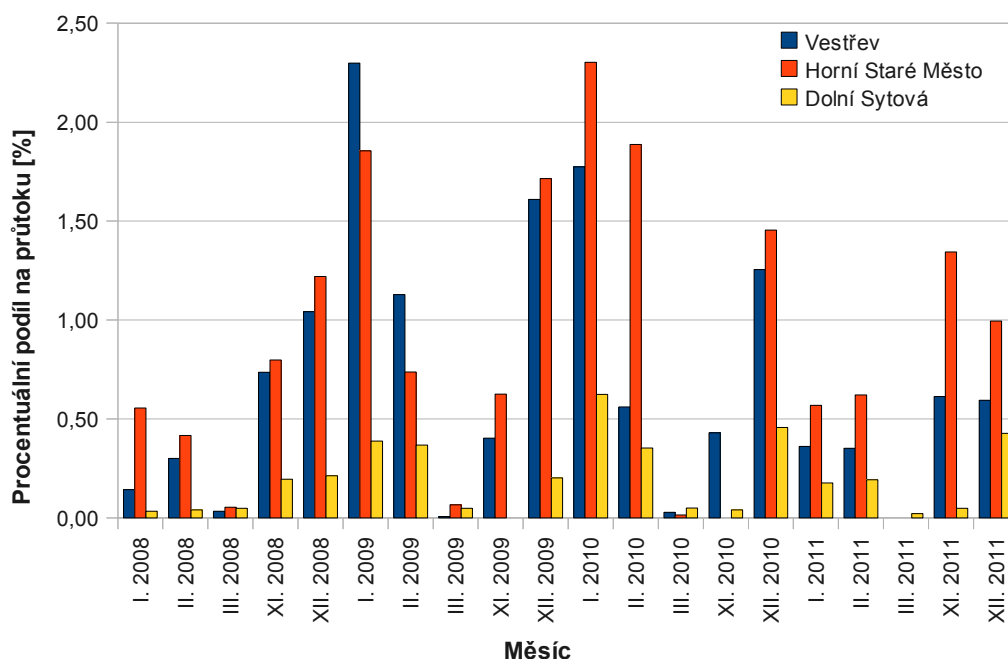
Na obrázku 31 je znázorněn vypočtený procentuální podíl odebrané vody z celkového průtoku. Vyšší podíl odebrané vody pro zasněžování je znát především v prosinci a lednu vybraných let na všech třech povodích. Především je to prosinec 2008, leden 2009 a také prosinec 2009 a leden 2010. Za hydrologický rok 2009 bylo odebíráno více vody z povodí Labe, v dalších letech se podíl v povodí Labe snížil, naopak narostl v povodí Úpy. Menší podíl odběru byl způsoben nižším průtokem způsobený nižšími teplotami vzduchu a také nižším úhrnem srážek.

Celkově byl největší podíl odebírán z povodí Úpy. Za období 2008-2011 se průměrná hodnota podílu přibližovala 1 %. Více jak dvě třetiny procenta jsou průměrně odebírány z povodí Labe. Naopak nejnižších podílů odběru vody z celkových průtoků bylo dosaženo v povodí Jizery. Průměrná hodnota za dané období byla vypočtena na 0,2 %.

Výsledná čísla řádově odpovídají číslům uvedeným ve studii Novického et al. (2009). Ten udává pro stanici Vestřev odběr vody 3,1 % vody z celkového průtoku v povodí Labe, o pár desetin procenta ukazuje graf na obrázku 31 v porovnání se studií Novického větší procentuální odběr vody z povodí Úpy. Značně se liší výsledek v povodí Jizery, kdy studie Novického et al. (2009) udává číselnou hodnotu procentuálního odběru 1,8 % z protékající vody. V grafu vidíme podíl lehce přesahující hranici 0,6 %. Tento rozdíl může být způsoben započtením rozdílných lyžařských areálů.



**Obr. 31: Podíl odebrané vody z měsíčních průtoků v období 2008-2011**



V celkovém hodnocení vykazují měsíční průtoky minimální hodnoty v září a říjnu, podružná minima v lednu, únoru. Právě tato podružná minima jsou nejvíce ohrožena odběry vody pro zasněžování, které jsou velmi intenzivní právě v lednu a také v prosinci. Naopak na druhé straně maximální průtoky jsou zaznamenávány v dubnu, kdy dochází k tání sněhu. Odtok v březnu a dubnu je na sledovaných horních tocích více jak dvojnásobný oproti ostatním měsícům. Zajímavé by bylo provést porovnání odtoku z horských toků, které nejsou ovlivněny odběry vody pro zasněžování, zda by bylo dosaženo dvojnásobných odtoků v dubnu i březnu, pokud by tok nebyl ovlivněn umělým zasněžováním.

## 5 Diskuze

Před závěrečným hodnocením je potřeba připomenout možnost výskytu nepřesností či nekomplexnosti dat. V časové řadě měsíčních průtoků na řece Úpě poskytnuté Českým hydrometeorologickým ústavem chybí údaje od září do listopadu 2010. V odběrových řadách jsou často uvedeny pouze povolené roční odběry nebo pouze povolené měsíční odběry, v některých případech není omezení žádné, čímž byly v malé míře zneprávněny výpočty o odběrech. Dále je také možná nepřesnost v datech měsíčních průtoků v roce 2012 ve všech závěrových profilech. Tato data nejsou autorizovaná, jak již bylo zmíněno v metodice.

V rešeršní části je základem především zahraniční literatura významných autorů. Většina výzkumů je zahrnuta do oblasti švýcarských, rakouských a francouzských Alp, některé další studie se zabývají situací v Německu, kanadském Quebecu nebo Austrálii. V oblasti české literatury byla pro danou práci nejpřínosnější studie Novického (2009) a další odborné články Štursy (2007; 2009) nebo Flouska a Harčarika (2009). Dané studie se zabývají vlivem technického zasněžování na přírodní nebo socioekonomickou sféru. Velmi často je do studií zahrnut výzkum související s klimatickými změnami.

Významným vlivem na hydrosféru je odběr vody pro zasněžování. Podle de Jong (2007) může docházet k vážným následkům při odběrech vody převážně na lokální říční ekosystém. Odběry vody jsou situované do období, kdy jsou minimální průtoky na tocích. Dále také dochází podle Hahna (2004) k odběrům vyšším, než je povolené množství. Tento výsledek je možné také pozorovat v analytické části dané práce na příkladu odběrů vody v povodí Jizery, kdy v letech 2008 a 2009 bylo odebíráno třikrát více vody než bylo maximální povolené roční množství. Podle Paccarda (2010) dochází díky odpařování ke změně místa odběru a zpětnému návratu vody do hydrologického cyklu. De Jong uvádí, že množství odpařené vody, která se do cyklu vrací později, může být až 30 %. Tím jsou některé úseky toků ochuzeny o část protékající vody. Pro doložení této teorie na příkladu Krkonoš by bylo potřebné získat data denních průtoků přímo z odběrových míst. Poté by bylo možné lépe porovnat změnu hydrologické bilance. Další změnu hydrologického režimu může způsobit také transport vody. Dochází jednak k přesunu vody za hranice jednoho povodí, dále pak k pokládání rozvodných sítí, které narušují podzemní toky a urychlují odtok vody ze sjezdovky (de Jong, 2007). Tyto kvantitativní změny mají dopad především na zoobentos říčních toků. Z kvalitativního hlediska dochází k užívání chemických či biologických přípravků pro výrobu a úpravu sněhové pokrývky. Mezi další zásahy patří výstavba retenčních nádrží, jejichž napouštění ovlivňuje odtok v průběhu celého roku. Významným negativem těchto nádrží je zásah do krajiny při jejich výstavbě. Mezi další zásahy do hydrologického režimu patří podle Flouska a Harčarika (2009) kácení stromů a terénní úpravy. Tyto procesy snižují schopnost vsakování, zrychlují odtok nebo snižují vydatnost pramenišť.

Vlivy na vegetaci, půdu a faunu spolu velmi úzce souvisí. S rozvojem lyžařských areálů dochází k odstraňování vegetace, tedy ke zvyšování upravovaných sjezdovek. S jejich úpravou souvisí zhutnění sněhové pokrývky nebo narušení vegetace či půd při nedostatečné

sněhové pokrývky. Dále může docházet k erozi povrchových vrstev a ovlivnění růstu vegetace. Při zhutnění sněhové pokrývky těžkou technikou dochází ke snižování propustnosti kyslíku a oxidu uhličitého, které jsou ve sníženém množství pro méně odolné rostliny ohrožující. O negativním dopadu hluku a světelného znečištění na faunu se shodují jak Hahn (2004), tak i Flousek a Harčarik (2009).

Faktorem ovlivňující zasněžování, odběr vody a celkově hydrologickou bilanci je také klimatická změna. Pozorovanými meteorologickými veličinami jsou především teplota vzduchu, úhrn srážek a jejich roční chod, změna intenzity srážek a změna rozsahu sněhové pokrývky. Podle zprávy IPCC 2007 (Pachauri, Reisinger, 2007) bude docházet ke zvyšování globální teploty, stejné předpoklady byly použity i v práci Novického et al. (2009). Se změnou teploty souvisí změna úhrnu srážek a jejich rozložení. Studie o změně klimatu (ČHMÚ, 2012) předpokládá zvýšení podílu extrémních srážek na celkových ročních úhrnech až o 4 %.

Z hodnocení variability měsíčních a ročních průtoků vyplývá, že nejvyšší maximální průtoky jsou dosaženy v měsíci dubnu. Výše absolutní hodnoty průtoků je dosažena táním sněhu (jak přírodního, tak technického). Nejnižších průtoků je dosaženo v září a říjnu, ovšem pro danou práci jsou významnější zimní minima od prosince do února, kdy dochází ke stejnému rozložení minimálních průtoků a maximálních odběrů vody. Stejně závěry jsou zmíněny v práci Fialy, Ouarda, Hladného (2010), které uvádějí koncentraci maximálních průtoků od poloviny března do konce dubna. Minimální průtoky taktéž odpovídají měsíci září a říjnu jako v dosažených výsledcích. Z grafů odběrů vody v Krkonoších za období hydrologických let 2002-2012 je znát nárůst odebrané vody pro zasněžování. Přestože je stanoven povolený roční i měsíční odběr vody pro jednotlivá střediska, jsou tyto odběry v případech velkých lyžařských areálů překračovány.

Obecně je vliv zasněžování na bilanci odtoku v horských povodích patrný. Vliv na odtokovou výšku ani na průtok za současného stavu odběrů není nikterak zásadní či ohrožující. Do budoucna je velmi pravděpodobné, že lyžařské areály budou chtít technicky zasněžovat až 100 % svých sjezdovek, tudíž porostou nároky na další odběry. Dále je také reálné rozšiřování sjezdových tratí a další 100% zasněžování. S tímto rozvojem by pak mohly nastat problémy s odběrem vody. Jak ve své studii uvádí Novický et al. (2009), při zasněžování nově schválených vleků by v povodí Labe mohlo dojít k odběru až 18,3 % z protékající vody. V povodí Úpy by toto číslo dosáhlo 16,7 % a v povodí Jizery 9,5 % vody, což už je znatelný zásah. Vliv zasněžování je prokazatelný nejen na vodním režimu, ale také na vegetaci, půdě a fauně nejen na sjezdovkách, ale i v jejich blízkém okolí.

## 6 Závěr

Cílem práce bylo zhodnotit dostupnou literaturu a analyzovat situaci v Krkonoších. Technické zasněžování zaznamenalo velký rozmach v posledním desetiletí. Dané téma je nyní velmi aktuální a čerstvé, tudíž literatury není mnoho.

Z dostupné literatury je zřejmý vliv na hydrologickou sféru – změna rozložení ročních průtoků, zvýšení jarních průtoků a také existence podružného minimálního průtoku v zimním období, které může být limitujícím faktorem pro limity maximálních odběrů. Zásahy do vegetace a půdy jsou nejvíce nebezpečné na počátku či konci lyžařské sezony, kdy sněhová pokrývka není dostatečná a na exponovaných místech dochází k ničení vegetace nebo půdní erozi. Dále je také prodloužena doba trvání sněhové pokrývky, která oddaluje vegetační období rostlin. Dalším negativním vlivem je hluk sněžných děl při výrobě sněhu nebo světelné znečištění při osvětlení sjezdovek pro večerní lyžování nebo zasněžování.

Případová studie z povodí horního Labe, horní Úpy a horní Jizery prokázala minimální vliv na odtokovou výšku. Procentuální podíl měsíčních odběrů vody z měsíčních průtoků byl také minimální. Z provedených výpočtů je patrné, že dochází k větším měsíčním odběrům vody než je povolené maximální množství. S rozvojem lyžařských areálů a investicemi do sněžných děl je pravděpodobnost růstu odběrů vody více než předpokládána.

Pro detailnější upřesnění vlivu technického zasněžování na bilanci odtoku v horských povodích by bylo výhodnější porovnávat data menších oblastí. Bylo by vhodné měřit průtoky na jednotlivých malých tocích, na kterých probíhá vlastní odběr vody. Vliv na těchto tocích by zřejmě vykazoval rozdílné hodnoty výpočtů a ovlivnění odtokového režimu by bylo prokazatelnější. Z těchto důvodů je dané téma vhodné pro další detailnější studie.

## 7 Seznam literatury

- ABEGG, B. (1996): Klimaänderung und Tourismus: Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. Zurich, Switzerland: vdf Hochschulverlag.
- ANDRLE, J. (2012): Umělé zasněžování na území Krkonošského národního parku. Ústní sdělení. Správa KRNAP, Vrchlabí, Oddělení ochrany přírody. 23. 3. 2012
- BADRÉ, M., PRIME, J. L., RIBIERE, G. (2009): Neige de culture: Etat des lieux et impacts environnementaux, Note socio-economique, 154 s.
- BURT, J. W., RICE, K. J. (2009): Not all ski slopes are created equal: Disturbance intensity affects ecosystem properties. *Ecological Applications*, 19, č. 8, s. 2242–2253.
- BÜRKI, R., ELSASSER, H., ABEGG, B. (2003): Climate Change: Impacts on the Tourism Industry in Mountain Areas. 1st International Conference on Climate Change and Tourism, Djerba, s. 1-9.
- ČIHAŘ, M. (2002): Naše hory. Praha: Ottovo nakladatelství, 280 s.
- ČHMÚ (2008): Územní srážky [online]. c2012. [cit. 2012-08-08]. Dostupný z WWW: [http://portal.chmi.cz/portal/dt?portal\\_lang=cs&nc=1&menu=JSPTabContainer/P4\\_Historicka\\_data/P4\\_1\\_Pocasi/P4\\_1\\_5\\_Uzemni\\_srazky&last=false](http://portal.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&nc=1&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_5_Uzemni_srazky&last=false)
- ČHMÚ (2010): Seznam vodoměrných stanic [online]. c2012. [cit. 2012-06-29]. Dostupný z WWW: [http://old.chmi.cz/hydro/opv/doc/seznam\\_stanic.pdf](http://old.chmi.cz/hydro/opv/doc/seznam_stanic.pdf)
- ČHMÚ (2012): Změna klimatu, základní informace [online]. c2012. [cit. 2012-06-29]. Dostupný z WWW: [http://portal.chmi.cz/portal/dt?portal\\_lang=cs&nc=1&menu=JSPTabContainer/P4\\_Historicka\\_data/P4\\_1\\_Pocasi/P4\\_1\\_10\\_Zmena\\_klimatu/P4\\_1\\_10\\_1\\_Zakladni\\_informace&last=false](http://portal.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&nc=1&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_10_Zmena_klimatu/P4_1_10_1_Zakladni_informace&last=false)
- DAVID, P., DAVID, P. ml, LUDVÍK, P. (2010): Česko všemi smysly. Krkonoše. Praha: S&D, 175 s.
- De JONG, C. (2007): Artificial snow drains mountain resources [online]. c2012. [cit. 2012- 04-20]. Dostupný z WWW: <http://environmentalresearchweb.org/cws/article/opinion/30703>
- DEMEK, J. et al. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. Brno : Academia, 584 s.
- DMÚ 25 (1998): Základní topografické vrstvy. Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Dobruška [cit. 2012- 07-20].
- FIALA, T., OUARDA TAHA, B.M.J., HLADNÝ, J. (2010): Evolution of low flows in the Czech Republic. *Journal of Hydrology*, 393, s. 206-218.
- FLOUSEK, J., HARČARIK, J. (2009): Sjezdové lyžování a ochrana přírody. *Ochrana přírody*, č. 6, s. 8-10.

- HAHN, F. (2004): Künstliche Beschneiung im Alpenraum: Ein Hintergrundbericht. s. 1 – 19.
- CHLAPEK J., et al. (2009): Lyžování ve světle ochrany přírody. Ochrana přírody, č. 1, s. 22-24.
- JONES, H. G., DEVARENNES, G. (1995): The chemistry of artificial snow and its influence on the germination of mountain flora. IAHS Publication, 228, s. 350-360.
- KAMMER, P. M. (2002): Floristic changes in subalpine grasslands after 22 years of artificial snowing. Journal for Nature Conservation, 10, s. 109-123.
- KLUG, H. (2011): Water Management in a Changing Environment: Strategies against Water Scarcity in the Alps. Project Outcomes and Recommendations, Alp-Water-Scarce, University of Salzburg, s. 1-76.
- KOCKOVÁ, J. (2008): Srovnání vegetace sjezdových tratí s umělým a přírodním sněhem v CHKO Bílé Karpaty a v CHKO Beskydy. Bakalářská práce. Katedra botaniky PřF, Jihočeská univerzita, České Budějovice, 29 s.
- KOCKOVÁ, J. (2011): Srovnání vegetace sjezdových tratí s umělým a přírodním sněhem v CHKO Bílé Karpaty a v CHKO Beskydy. Magisterská práce. Katedra botaniky PřF, Jihočeská univerzita, České Budějovice, 33 s.
- KÖNIG, U. (1998): Climate change and the Australian ski industry. The Global Threats to the Australian Snow Country Conference held at the Australian Institute of Alpine Studies, Jindabyne, Australia
- LAGRIFFOUL, A., et al. (2010): Bacterial-based additives for the production of artificial snow: What are the risks to human health? Science of the Total Environment, 408, s. 1659–1666.
- NÁRODNÍ GEOPORTÁL INSPIRE (2012): Mapové výstupy fyzickogeografických charakteristik povrchu [online]. Národní geoportál, Praha, [cit. 2012-08-14]. Dostupné z WWW: <<http://geoportal.gov.cz/web/guest/wms/>>.
- NETOPIL, R. (1970): Základy hydrologie povrchových a podpovrchových vod. Praha: SPN, 223 s.
- NETOPIL, R. (1984): Fyzická geografie I. Praha: SPN, 274 s.
- NOVICKÝ O., et al. (2009): Prognostická studie o vlivu odběru vody pro technické zasnežování na průtoky hlavních krkonošských toků k roku 2025. Výzkumná zpráva, SVTI VÚV T.G.M., v.v.i., Praha, s. 1-49.
- PACCARD, P. (2010): Gestion durable de l'eau en montagne : Le cas de la production de neige en stations de sports d'hiver. Thèse de doctorat de géographie, Université de Savoie, 482 s.

- PACHAURI, R. K., REISINGER, A. (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 s.
- PINTAR, M., MALI, B., KRAIGHER, H. (2009): The impact of ski slopes management on Krvavec ski resort (Slovenia) on hydrological functions of soils. *Biologia* 64, č. 3, s. 639—642.
- PÜTZ, M., et al. (2011): Winter Tourism, Climate Change, and Snowmaking in the Swiss Alps: Tourists' Attitudes and Regional Economic Impacts. *Mountain Research and Development*, 31, č. 4, s. 357-362.
- RIXEN, Ch., et al. (2008): Altered snow density and chemistry change soil nitrogen mineralization and plant growth. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 40, s. 568–575.
- RIXEN, Ch., et al. (2011): Winter Tourism and Climate Change in the Alps: An Assessment of Resource Consumption, Snow Reliability, and Future Snowmaking Potential. *Mountain Research and Development*, 31, č. 3, s. 229-236.
- RIXEN, C., STOECKLI, V., AMMANN, W. (2003): Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*, 5, s. 219–230.
- SCOTT, D., McBOYLE, E. G. (2007): Climate change adaptation in the ski industry. *Mitig Adapt Strat Glob Change*, 12, s. 411–431.
- SIMON, M. (2005): Labe a jeho povodí. Geografický, hydrologický a vodohospodářský přehled. Magdeburg: Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, 255 s.
- SINGH, P., SINGH V. P. (2001): *Snow and Glacier Hydrology*. Kluwer Academic Publisher. London, 742 s.
- Správa KRNAP (2010): Krkonošská flora. [online]. c2012. [cit. 2012-07-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.krnep.cz/flora-a-vegetace/>>.
- STEIGER, R. (2011): The impact of climate change on water demand of snowmaking, *Geophysical Research Abstracts*, 13.
- STEIGER, R., MAYER, M. (2008): Snowmaking and climate change: Future options for snow production in Tyrolean ski resorts. *Mountain Research and Development*, 28, č. 3/4, s. 292-298.
- STOCKLI, V., RIXEN, Ch. (2000): Characteristics of artificial snow and its effect on vegetation. Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, Switzerland. In: Birkeland, K., Adams, E., Johnson, F. (Eds.): *Conference Proceedings of the International Snow Science Workshop*, American Avalanche Association, Bozeman USA, Big Sky, Montana (USA), s. 468–471.

ŠTURSA, J. (2007): Ekologické aspekty sjezdového lyžování v Krkonoších. In: : ŠTURSA, J., KNAPIK, R.: Geoekologické problémy Krkonoš. Sborník Mezinárodní vědecké konference, Svoboda nad Úpou. Opera Corcontica, 44/2: 603–616.

ŠTURSA, J. (2009): Voda v Krkonoších. Vrchlabí, Správa Krkonošského národního parku. 33 s.

THORNE, P. (2008): Zermatt Begins Snowmaking In Above Freezing Conditions [online]. c2012. [cit. 2012-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://en.skiinfo.com/news/zermatt-begins-snowmaking-in-above-104-en-125666.jhtml>>.

VANHAM, D., et al. (2009): Water demand for snowmaking under climate change conditions in an alpine environment. In: Borsdorf, A.; Stötter, J.; Veulliet, E. (Ed.): Managing Alpine Future. Proceedings of the Innsbruck Conference 15-17 October 2007. IGF-Forschungsberichte, Band 3, Wien.

VANHAM, D., FLEISCHHACKER, E., RAUCH, W. (2009): Impact of snowmaking on alpine water resources management under present and climate change conditions. Water Science & Technology, 59, č. 9, s. 1793-1801.

WEMPLE, B., et al. (2007): Hydrology and water quality in two mountain basins of the northeastern US: assessing baseline conditions and effects of ski area development. Hydrological Processes 21, s. 1639–1650.

WIPF, S., et al. (2005): Effects of ski piste preparation on alpine vegetation. Journal of Applied Ecology, 42, s. 306–316.

WIPF, S., et al. (2007): Ski piste vegetation under artificial and natural snow: patterns in multivariate analysis. Ecological interrelations in mountain ecosystems, s. 170-179.

ZEINVAND, H., DE SMEDT, F. (2009): Hydrological Modeling of Snow Accumulation and Melting on River Basin Scale. Water Resour Manage, 23, s. 2271–2287.

ZEZULA, P. (2011): Historie výroby umělého sněhu [online]. c2012. [cit. 2012-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.skivm.cz/cs/ski-areal/historie>>.